



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

TÍTULO: Planificación y desarrollo de sistemas de video vigilancia digital vía WIMAX

AUTOR: Iñaki Rodríguez Reyes

DIRECTOR: Luis Alonso

FECHA: 24 de Mayo de 2012

Título: Planificación y desarrollo de sistemas de video vigilancia digital vía WIMAX

Autor: Iñaki Rodríguez Reyes

Director: Luis Alonso

Fecha: 07 de Mayo de 2012

Resumen

En la actualidad, la mayoría de sistemas de comunicación y transmisión son digitales o se han incorporado al mundo “IP”. Es una tendencia clara para el mundo tecnológico actual aunque algunos sectores se resistan a dar el paso.

Los sistemas de video vigilancia (CCTV) están ya muy introducidos en este mundo bien sea mediante dispositivos, procesado o transmisión.

En este proyecto se estudia este último punto, la transmisión de video digital en los sistemas de seguridad.

El objetivo de este TFC es cubrir una necesidad “real” de un cliente de la empresa CCTV CENTER (Distribuidor de sistemas de seguridad).

El cliente es el campo de golf de PERALADA (GERONA).

El problema que se planteó es realizar el planteamiento, planificación y diseño de un sistema de video vigilancia en todo el campo de golf de forma inalámbrica ya que no era viable pasar cables por las largas distancias y el entorno que hay en todo el campo.

La posibilidad planteada es el uso de enlaces de tecnología WiMAX con equipos del fabricante ALVARION. En este proyecto se fundamentan los motivos para esta elección tecnológica.

Las principales razones son el tipo de modulación robusta y eficiente que utiliza y por otro lado que este tipo de tecnología trabaja en una banda de frecuencias de libre explotación. Además, tiene un buen alcance, permite redes de diferente tipología y el hecho de ser una red radio hace que su implementación y mantenimiento tengan un coste relativamente bajo.

El proyecto está basado en el producto de ALVARION y cuenta con el apoyo y colaboración del propio fabricante. Se expone una solución escalable, fiable y económica para esta necesidad real en un escenario con largas distancias como es un campo de golf.

Tras realizar el estudio de planificación y diseño se realizaron medidas de campo con diferentes enlaces para justificar la viabilidad de la implementación de dicho sistema.

Título: Planificación y desarrollo de sistemas de video vigilancia digital vía WIMAX

Autor: Iñaki Rodríguez Reyes

Director: Luis Alonso

Fecha: 01 de abril de 2012

Overview

Currently, most communication and transmission systems are digital or have joined the world "IP".

It is a clear trend for today's technological world although some areas are resisting to take the plunge.

Video surveillance systems (CCTV) are already well placed in this world either through devices, processing or transmission.

This project focuses on this last point, the transmission of digital video security systems.

The objective of this TFC is covering a "real" need client of company CCTV CENTER (Distributor of security systems).

The client is a golf course in PERALADA (Gerona).

The problem considered is to realize the approach, planning and design of a video surveillance system throughout the golf course wirelessly as it was not feasible to put cables for long distances and the environment that exists in the field.

The possibility offered are links of the manufacturer Alvarion WiMAX, and this project will comment the reasons for using it.

The main reason is as robust and efficient modulation it uses that this technology works in a frequency band free exploitation. It also has a coverage that can reach tens of kilometers and being a radio network, making implementation and maintenance are relatively low cost.

The project is based on the product ALVARION and has the support and cooperation of the manufacturer. It exposes a scalable, reliable and cost for this real need in a scenario with long distances as a golf course.

After performing the planning study and design steps are performed with various testes to justify the feasibility of implementing this system.

“Quisiera hacer constar mis agradecimientos a Gonzalo de la empresa ALVARION por proporcionarme su apoyo así como el acceso a la herramienta de simulación y planificación. Sin dicho recurso el proyecto no hubiera sido lo mismo.

También agradecer a Nuria, directora del campo de golf, por permitirme desinteresadamente todas las facilidades para realizar las pruebas en el entorno estudiado. Estas pruebas han permitido concluir el proyecto y poder comprobar todos los resultados estudiados y simulados.

Por otro lado agradecer las personas que me han ayudado a realizar las medidas, que han requerido una logística considerable. Estas personas son Alexis, Laura, Dani y Celia

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE NECESIDADES	10
1.1 El escenario	10
1.2 Necesidades	10
1.3 ¿Por qué tecnología radio?	11
1.4 Condiciones de diseño	11
1.4.1 Tráfico ofrecido por cámaras IP	13
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS BASICOS DE CCTV	14
2.1. Historia e introducción a CCTV	14
2.2. Composición	14
2.3. Sistemas analógicos y sistemas digitales (IP)	15
2.4. Transmisión de señal	15
2.4.1. Cableado	15
2.4.2. Transmisión Inalámbrica	16
CAPÍTULO 3. ALTERNATIVAS DEL MERCADO	18
3.1. Empresas	18
3.1.1. Electrónica Barcelona (WiFi).....	18
3.1.2. Alvarion (WiMAX).....	19
3.1.2.1. Sistemas punto a punto: BreezeNET	19
3.1.2.2. Sistemas multipunto: BreezeACCESS VL	20
3.1.2.3. Sistemas multipunto: BreezeMAX	21
3.2. Selección de producto	22
3.2.1. Comparativa comercial	22
3.3.2. Solución escogida	22
CAPITULO 4. PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA	25
4.1. Propiedades del canal radio	25
4.2. Modelos de propagación	26
4.3. Modelo SUI básico (o modelo Erceg)	27
4.4. Modelo SUI con factor de corrección de frecuencia	28
4.5. Modelo SUI extendido	28
4.6. Herramienta de simulación de Alvarion	29
CAPITULO 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS ENLACES Y PLANIFICACIÓN	31
5.1. Zonas a proteger	31
5.2.Topología de red.....	32
5.2.1. Topología en estrella	32
5.2.2. Topología tipo Mesh	34
5.2.3. Topología seleccionada	37
5.3. Planificación y viabilidad de enlaces.....	38
5.3.1. Simulación con herramienta PtP de ALVARION	38

5.4. Resultados.....	42
5.4.1. Resultados simulación.....	42
5.4.2. Resultados modelo de propagación SUI Extendido.....	43
CAPITULO 6. MEDIDAS DE CAMPO	45
6.1. Especificaciones de las medidas.....	45
6.1.1. Objetivo de las pruebas	45
6.1.2. Descripción de las pruebas.....	45
6.1.3. Equipamiento utilizado	46
6.1.4. Configuración del equipamiento y ejecución.....	47
6.1.5. Medidas de referencia	48
6.1.6. Representación de resultados	49
6.2. Medidas en el campus	50
6.2.1. Enlace multipunto BreezeACCES VL con ant. omnidireccional... 50	
6.2.1.1.Descripción de las pruebas.....	50
6.2.1.2.Resultados	52
6.3. Medidas en el campo de golf.....	55
6.3.1.Descripción de las pruebas.....	55
6.3.2.Resultados.....	56
6.3.2.1. Puntos de medida estudiados	58
6.3.2.2. Nuevos puntos de medida	60
6.3.2.3. Aspectos generales	61
CAPITULO 7. PRESUPUESTO.....	62
7.1. Presupuesto orientativo de materiales	62
7.1.1. Comunicaciones	63
7.1.2. CCTV	64
CAPITULO 8. CONCLUSIONES	66
CAPITULO 9. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	67
BILBIOGRAFÍA	69
ANEXO 1. ESTANDERES INALÁMBRICOS 802.11 Y 802.16	70
ANEXO 2. TABLA COMPARATIVA 802.11 vs 802.16	86
ANEXO 3. SIMULACIONES CAMPO DE GOLF	90
ANEXO 4. SIMULACIONES CAPUS EETAC.....	109
ANEXO 5. MEDIDAS CAPUS EETAC.....	115

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realiza el estudio de viabilidad, planificación y diseño de un sistema de transmisión de video a través de enlaces con tecnología WiMAX para una aplicación de video vigilancia real en las que se contemplan diferentes posibilidades tecnológicas que nos ofrece el mercado.

Inicialmente se propone un análisis de necesidades, en el cual se explica la situación actual y se plantean algunos criterios para una solución realista que satisfaga las necesidades del cliente.

En segundo lugar se realiza una breve introducción a los servicios de video vigilancia para entrar en contexto. Se comentará la digitalización y la evolución en este campo y como afecta a los equipos, procesado y transmisión en este campo.

Continuaremos con la comparativa entre los dos distribuidores de los que presentamos propuestas.

Se presentó una propuesta de diseño con enlaces que trabajan con WiFi y por otro lado se presentó los enlaces de WIMAX.

Se efectúa una comparativa detallada de las dos propuestas exponiendo diferencia entre tecnologías, escalabilidad, fiabilidad, etc...

En el cuarto capítulo se realiza una breve explicación de las tecnologías WiFi y WiMAX para orientarnos tecnológicamente hablando y disponer de criterios mínimos de comparación.

A continuación se incluye un capítulo con un resumen teórico de fundamentos de propagación radio en el cual se introduce el modelo de propagación utilizado para estimar las pérdidas que se tendrán en los enlaces del campo de golf.

En el siguiente punto se realiza la planificación y el diseño del sistema incluyendo las simulaciones, sus resultados y la comparación con el modelo de propagación utilizado. Se estudian los enlaces que se van a utilizar para la implementación del proyecto así como los requisitos de capacidad de ancho de banda de video para cada punto del terreno.

El séptimo capítulo, es el estudio práctico donde se describen las medidas de campo realizadas. En él se describen las medidas realizadas con enlaces WiMAX de ALVARION por un lado en el Campus de la “EETAC-Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels” y por otro en el mismo campo de golf. También se muestra la verificación de cálculos y el estudio de la viabilidad previamente analizado.

A continuación se realiza un presupuesto de referencia para tener en cuenta el coste del proyecto. Con todos los datos teóricos/prácticos se realizará un estudio y unas conclusiones sobre la funcionalidad de los equipos y la viabilidad del proyecto real que se llevará a cabo en los próximos meses así como las consecuencias medioambientales que puedan haber.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE NECESIDADES

1.1. El escenario

En el corazón del Alt Empordà, en una situación de privilegio, a 10 minutos del mar y de la frontera francesa, y a 1 hora de Barcelona, tiene su ubicación sobre una finca de 140 hectáreas, el Club de Golf Peralada.

El club de Golf Peralada ha sido un campo pionero en la preservación del entorno, cuidando la naturaleza y la ecología. Actualmente es el primer campo europeo que con el soporte de la Generalitat de Catalunya, está realizando una eco-auditoria para obtener la certificación Medio-Ambiental de la Unión Europea con relación a la gestión del Campo de Golf.

Por ello, la necesidad de evitar todo tipo de cableados externos y la necesidad de optimización en las instalaciones de comunicaciones en todo el recinto.

La información referente al Club de Golf Peralada se encuentra en la referencia bibliográfica [1].

1.2. Necesidades

Como se puede intuir, la zona a dar servicio de video vigilancia no es solo un club de golf. Se trata de una urbanización con viviendas que conviven con los 18 hoyos de golf y en que se encuentra también el Hotel Golf Peralada. Un hotel de 5 estrellas de altas prestaciones. En otras palabras, hay diferentes zonas a proteger.

El recinto dispone de accesos delimitados y de vallado de protección en casi todo su perímetro. También dispone de un servicio profesional de seguridad que controla el acceso y vigila durante las 24 horas del día mediante actuaciones y rondas.

Aun teniendo los diferentes recursos de seguridad comentados anteriormente, siguen habiendo vulnerabilidades. Se requiere de captación de imágenes para controlar el perímetro las 24 horas ya que el personal del que disponen no es tan numeroso como para cubrir todo el territorio.

Por otro lado la captación de imágenes permite realizar un estudio exhaustivo de las deficiencias o el patrón que siguen las personas que acceden a la urbanización sin autorización y con intención de cometer hurto o desperfectos en el club. También hay que tener en cuenta que la captación de imágenes será posteriormente almacenada y es válida como prueba ante una denuncia.

Como se ha comentado, el campo de golf es también una urbanización donde residen personas. Debemos recordar también que el poder adquisitivo de los usuarios de este entorno es alto. Así que se debe tener en cuenta el Hotel, las viviendas, los accesos, los vehículos, etc...

En primer lugar, hay dos accesos principales para vehículos donde comenzaremos contemplando vigilancia.

Por otro lado, el Hotel debe estar bien protegido por haber objetos de valor en él. Así como los vehículos del parking y los bienes personales de los propios usuarios del hotel.

Como tercer punto a proteger se contemplará el perímetro así como las calles limítrofes de la urbanización donde puede haber posibles intrusiones indeseadas.

1.3. ¿Por qué tecnología radio?

Como se ha comentado, este campo de golf es pionero en la preservación del entorno, cuidando la naturaleza y la ecología. Por lo que cuidan minuciosamente el aspecto de sus calles y sus paisajes.

Era totalmente inviable por tanto colocar cableado en todo el perímetro del campo ni en lugares más céntricos en los que se ubican viviendas particulares en las que podría afectar el paso de dicho cableado o las obras que supondrían enterrarlo.

Por otro lado no hay edificios altos ni obstáculos que afecten demasiado en las diferentes zonas a cubrir y algunos de los enlaces se pueden hacer con LOS (Línea de visión directa).

1.4. Condiciones de diseño

El tipo de tecnología se tratará más adelante. Aunque tras este análisis de necesidades podemos imponer unas condiciones de diseño:

FUNCIONALES

- El Sistema ha de proporcionar transmisión de señal de video donde se identifique la imagen y el escenario en el que se está grabando.

DESARROLLO

- El sistema ha de ser capaz de transmitir video en un rango de alrededor de 1 km con una calidad de señal y ancho de banda 20% por encima de lo estrictamente necesario.
- Las zonas a cubrir son los dos accesos al club, el Hotel y el perímetro en éste orden de prioridades.
- La resolución mínima de imágenes debe ser como entre 1 y 3 Pixeles.
- Deben grabarse 12 imágenes por segundo como mínimo.
- El porcentaje de superficie a vigilar debe cubrir un 60% del perímetro del Club de Golf, repartiendo dicho porcentaje en las zonas más vulnerables.

INTERFAZ

- El Sistema debe ser accesible remotamente desde el centro de vigilancia y desde cualquier punto con acceso a internet.

OPERACIONAL

- El sistema debe estar grabando 24h al día con un tiempo de downtime inferior al 5% anual y con un periodo máximo de grabación de imágenes de 3 meses en función de la LPD.
- El tiempo aceptable de reinicio en caso de caída del sistema debe ser de como máximo 20 segundos.



Fig. 1. Plano aéreo del campo de golf y su perímetro

1.4.1. Tráfico ofrecido por cámaras IP

Para escoger un tipo de enlace u otro necesitaremos saber cuanto ancho de banda necesitamos transmitir.

El ancho de banda de una señal de video vigilancia en una cámara IP depende de diferentes factores como la resolución, la codificación, la compresión, las imágenes por segundo, etc...

Según fuentes de diferentes fabricantes como PANASONIC, AXIS, SAMSUNG, BOSCH, etc., podemos tomar como referencia un ancho de banda por cámara de entre 2 y 3 Mbps.

En la figura 2 se observa como mediante una aplicación web que nos proporciona el fabricante AXIS, justificaremos dicha referencia con condiciones concretas. La herramienta se puede encontrar en http://www.axis.com/es/products/video/design_tool/ y es de libre acceso.

Fig. 2. Cálculo de ancho de banda cámara IP en condiciones concretas [2.42 Mbps]

En la tabla de la figura 3 se puede apreciar como afecta al Throughput las diferentes configuraciones de cámara.

Imágenes/segundo	Resolución	Codificación de video	Compresión	Throughput (Mbps)
5	VGA	MotionJPEG	90	0.6
12	VGA	MotionJPEG	90	1.45
12	SVGA	MotionJPEG	90	2.27
12	3 MP	MotionJPEG	90	14.9
12	3 MP	H.264	90	1.27
12	3 MP	H.264	50	2.08
12	3 MP	H.264	70	1.58
12	3 MP	H.264	30	2.42

Fig. 3. Tabla de Throughput según configuraciones de cámara

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS BASICOS DECCTV

2.1. Historia e introducción a CCTV

Circuito cerrado de televisión o CCTV es una tecnología de video vigilancia visual diseñada para supervisar una diversidad de ambientes y actividades.

Se le denomina circuito cerrado ya que, al contrario de lo que pasa con la difusión, todos sus componentes están enlazados.

Las ventajas de circuito cerrado de televisión CCTV incluyen la capacidad de observar las situaciones de peligro a distancia, la capacidad de proporcionar un ojo constante de las actividades rutinarias, y una gran herramienta para el hogar y las empresas de seguridad, en un esfuerzo para combatir la delincuencia, o bien en el hogar u oficina para checar el desempeño de los trabajadores.

Al principio se hacían este tipo de instalaciones para disuadir o detectar robos y, hoy en día, no sólo se utiliza para seguridad, sino también para otros propósitos específicos como pueden ser los de la medicina, la educación o la lucha contra eventos antisociales.

El gran aumento de cámaras en lugares públicos, ha obligado en España, a regularizar la situación mediante la Ley Orgánica de Protección de Datos (LPD) de la cual se hablará más adelante en este proyecto. Esta protege la intimidad de las personas. En definitiva prohíbe las cámaras ocultas, obliga a informar sobre la existencia de video vigilancia, y proteger la intimidad de las personas, a utilizarlas con fines de seguridad y siempre con el sentido de proporcionalidad.

2.2. Composición

En general el circuito estará compuesto, aparte de las cámaras y monitores, de un dispositivo de almacenamiento de video (DVR Digital Video Recorder, NVR Network Video Recorder) dependiendo la estructura del circuito ya sea analógico o basado en redes IP, aunque se pueden realizar combinaciones dependiendo las necesidades del sitio. Se muestra un esquema de posible CCTV en la figura 4.

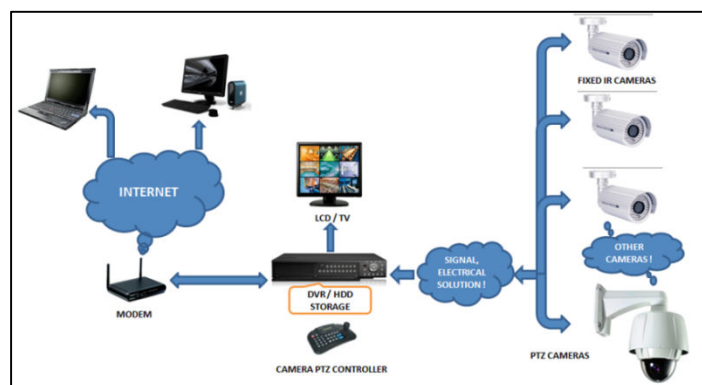


Fig. 4. Composición y estructura de un CCTV

2.3. Sistemas analógicos y sistemas digitales (IP)

Inicialmente, todo el conjunto de elementos que componen un cctv era analógico. Monitores, grabadores, cámaras, medios de transmisión, etc...

Poco a poco, se han ido introduciendo componentes digitales aunque con precaución ya que los sistemas analógicos en el sector de la seguridad disponen de una tecnología muy madura y tienen un largo historial de servicio.

Es evidente que las necesidades tecnológicas se investigan en el ámbito digital y no en el analógico por su escalabilidad y sus respectivas integraciones con el mundo de las telecomunicaciones. Por ello, cualquier sistema de video vigilancia con perspectiva del futuro debería disponer del mayor número de componentes digitales

El alcance actual de la tecnología digital ha cubierto muchas de las limitaciones de la tecnología analógica. Los sistemas de CCTV analógicos generalmente precisan un mantenimiento intensivo, no ofrecen accesibilidad remota y son notablemente difíciles de integrar con otros sistemas.

2.4. Transmisión de señal

La transmisión de la señal de video es un elemento de gran importancia en los sistemas de video vigilancia. Esto es así por lo que puede llegar a variar un entorno u otro a la hora de planificar una instalación. Se deben tener en cuenta muchos factores, como:

- Interior/Exterior.
- Capacidad de aprovechar medios existentes.
- Longitud entre los puntos a transmitir.
- Puntos desde donde obtener la alimentación eléctrica.
- Interferencias con otros sistemas.
- Etc....

Por ello se suelen mantener dos vertientes diferenciadas en la forma de transmitir dichas señales: mediante cableado o de forma inalámbrica.

2.4.1. Cableado

Actualmente en CCTV se utiliza cableado coaxial, fibra óptica o par trenzado.

El cableado es una parte muy importante a tener en cuenta ya que más del 70% de los problemas en la instalación de un sistema de CCTV están referidos al cableado.

El coaxiales medio de transmisión por antonomasia de los sistemas de cctv analógicos. Aunque está siendo mejorado por otros tipos de cableado como el par trenzado o la fibra óptica.

Por otro lado, la fibra óptica es un medio excelente para la transmisión de información por sus características: gran ancho de banda, baja atenuación de la señal que permite cubrir grandes distancias sin repetidores, integridad -proporción de errores baja (BER: Bit Error Rate)-, inmunidad a interferencias electromagnéticas, alta seguridad y larga duración -resistente a la corrosión y altas temperaturas-. Véase los tres tipos principales de cable en CCTV en la figura 5.

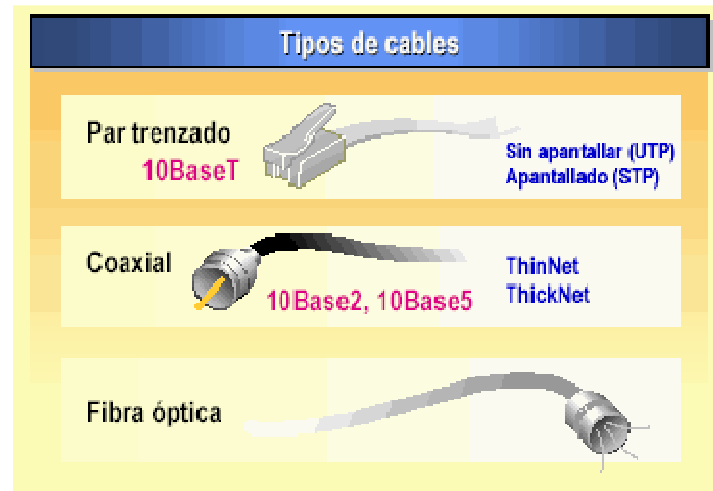


Fig. 5. Tipos de los tipos de cables más comunes en CCTV

2.4.2. Transmisión Inalámbrica

El objetivo fundamental de las redes inalámbricas es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red global donde se complementen ambas, enlazando los diferentes equipos y ofreciendo una flexibilidad total de la comunicación.

Actualmente cuando se habla de transmisión de video vigilancia vía radio, se da por hecho que la señal a transmitir es "IP". Los sistemas de transmisión analógicos por RF en CCTV "profesional" están prácticamente obsoletos por su inestabilidad, vulnerabilidad y poca eficiencia.

Las soluciones de transmisión de banda ancha por IP permiten instalar cámaras con un ahorro importante de costes asociados a la instalación de cableado Ethernet o de fibra óptica. En muchos casos, las tecnologías inalámbricas hacen posibles instalaciones que de otra forma serían inviables desde el punto de vista técnico y económico.

Dentro de los estándares inalámbricos más adecuados para facilitar este tipo de conectividad destacan los siguientes:

- WiFi (WirelessFidelity)
- WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

En los últimos años, ha habido empresas que han promovido mucho el uso de WIFI como sistema de transmisión para video vigilancia.

Aunque el uso de WiFi está muy extendido y muy maduro, es evidente que tiene limitaciones conocidas como las interferencias, la distancia, la seguridad, la velocidad... Limitaciones que en algunas instalaciones no se pueden permitir.

WiMAX, por otro lado, ha sido diseñado para complementar a la tecnología WiFi en estas y otras limitaciones.

Ambas tecnologías se comentadas con detalle en el anexo [1].

CAPÍTULO 3. ALTERNATIVAS DEL MERCADO

Frente a la necesidad de implementar un sistema de video vigilancia en el campo de golf estudiado en este TFC, se expusieron dos soluciones al cliente en cuestión.

Una propuesta está basada en los productos WIMAX de ALVARION para sistemas de CCTV. La propuesta presentada por otra empresa, se basaba en tecnología WIFI.

En este capítulo se estudiarán los productos concretos con los que se pretendía hacer el diseño sin llegar a desarrollar la planificación del mismo.

3.1. Empresas

3.1.1. Electrónica Barcelona (WIFI)

Wireless BCN dispone de familias de productos de telecomunicación según aplicaciones y necesidades que son las Series Wistream y WESS. Con diseño y tecnología de IP dan respuesta a las necesidades en el campo de la vigilancia y seguridad particular y profesional.

WESS, es la gama de producto de bajo coste y trabaja con modulaciones FM. Por tanto el producto que se presentó es la serie Wistream. En la figura 6 se muestran las características técnicas de este producto:

	Wistream20	Wistream23	WistreamDual18	WistreamAP
Protocolo	802.11 a/n	802.11 a/n	802.11 b/g/a/n	802.11 b/g/a/n
Ancho de banda max	150 Mbps	150 Mbps	300 Mbps	300 Mbps
Operación	Client/Station	Client/Station	Client/Station	Access Point
Frecuencia	5.15 – 5.88 GHz	5.15 – 5.88 GHz	2.4 – 2.81 GHz 5.15 – 5.88 GHz	2.4 – 2.81 GHz 5.15 – 5.88 GHz
Potencia	23 dBm	23 dBm	25 dBm	25 dBm
Ganancia Antena	20 dBi	23 dBi	2x18 dBi	Dual External
Seguridad	WEP 64, 128 and 154 BIT, mac Address Filtering, WPA-PSK, WPA-EAP with TKIP & AES, Ciphers, Radius authentication based on MAC			
Procesador	Atheros AR7240 400 MHz	Atheros AR7240 400 MHz	Atheros AR7161 680 MHz	Atheros AR7161 680 MHz
Modulo Radio	Atheros 9280 23 dBm	Atheros 9280 23 dBm	Atheros 9220 25 dBm	Atheros 9220 25 dBm
Interfaz Ethernet	RJ-45			
Dimensiones	270 x 270 x 90 mm	320 x 320 x 90 mm	270 x 270 x 80 mm	270 x 270 x 80 mm
Peso	2.5 kg	2.5 kg	2.5 kg	2.5 kg
Alimentación	10 V - 28 V (PoE)			
Temp. Operación	-30º a +60 º C			
Topología	Punto Punto	Punto Punto	Punto Punto	Punto Multi-Punto
Alcance max recom.	4 km	6 km	4 km	Según antena

Fig. 6. Especificaciones técnicas de los equipos de Electrónica Barcelona

El producto, como se muestra las especificaciones técnicas, es WiFi de varios estándares diferentes. En este proyecto es necesario enlaces punto a punto y enlaces punto multipunto. Por tanto, se necesitarían el último producto (Wistream AP) y alguno de los otros tres.

En este caso complementaríamos la propuesta con el tercer producto, ya que es el que dispone de mejores prestaciones. Hace uso de todos los estándares comentados de 802.11 en el anexo [1], tiene una tasa de bit mayor, trabaja en

ambas bandas de frecuencia, tiene más ganancia (MIMO 2x2) y dispone de un procesador más rápido, etc.

La tasa de bit máxima de WiFi en condiciones ideales con el estándar 802.11n ronda esos 300Mbps. Recordemos que esa velocidad solo es posible en la banda de los 5 GHz, con antenas MIMO 2x2 y con canales de 40MHz.

Por otro lado, es capaz de trabajar en las dos bandas de frecuencias disponibles por contemplar los cuatro estándares descritos anteriormente.

3.1.2. Alvarion (WiMAX)

Alvarion dispone de tres gamas diferenciadas:

BreezeNET: enlaces punto a punto.

BreezeACCESS: enlaces punto multipunto

BreezeMAX: enlaces punto multipunto de altas prestaciones con movilidad.

3.1.2.1. Sistemas punto a punto: BreezeNET

A continuación mostramos las características generales y los diferentes productos en función del ancho de banda requerido.

- Equipos robustos pensados para exteriores (IP67)
- Calidad de servicio para datos, voz y vídeo
- Alto rendimiento en aplicaciones NLOS (sin línea de visión)
- Funcionamiento en banda de frecuencia no licenciada (5,4 GHz)

BreezeNET B10– Hasta 10 Mbps
BreezeNET B14– Hasta 14 Mbps
BreezeNET B28– Hasta 35 Mbps
BreezeNET B100– Hasta 70 Mbps

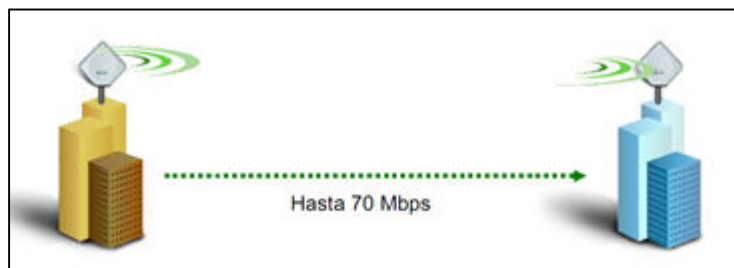


Fig. 7. Alcance y capacidad de los equipos BreezeNET

De la hoja de especificaciones podemos resaltar que trabaja en las frecuencias no licenciadas de la banda de 5,4GHz, que utiliza OFDM complementado con duplexado por división en tiempo, canales de 20 y 40 MHz con una resolución frecuencial de 10 o 5 MHz en función del modelo (BW).

La tasa de transmisión puede llegar a ser superior que en el producto de WiFi mediante enlaces BreezeNET B300 (> 250Mbps para exteriores). Dichos enlaces no son comentados ya que para la transmisión de video por IP en estos escenarios no suele ser necesaria. Una cámara IP de 1,3 Mega pixeles

Panasonic, por ejemplo, puede llegar a ocupar un ancho de banda de 2Mbps aproximadamente. De modo que enlaces de más capacidad no son necesarios. Más adelante se analiza dicho ancho de banda de transmisión de video y se justifica mediante una herramienta web que proporciona el fabricante AXIS.

En cuanto a la potencia transmitida, se contempla que pueda llegar a 21 dBm (125,9 mW). Que son 4 dBm menos que las de mejores prestaciones del producto WiFi. Al ser menor de 200mW, este producto puede utilizar las frecuencias entre los 5,15 y 5,360 GHz por cumplir la limitación de potencia impuesta por el CNAF. Los detalles se pueden consultar en el anexo [1] donde se comentan los estándares 802.11 y 802.16.

3.1.2.2. Sistemas multipunto: BreezeACCESS VL

A continuación mostramos las características generales y los diferentes productos en función del ancho de banda requerido.

- Equipos robustos pensados para exteriores (IP67)
- Velocidad de transmisión: hasta 3, 6, 10 ó 54 Mbps
- Calidad de servicio para voz y vídeo
- Alto rendimiento en aplicaciones NLOS (sin línea de visión)
- Funcionamiento en banda de frecuencia no licenciada (5,4 GHz)

Estas velocidades son agrupadas en los diferentes enlaces (SU-Subscriptores) que se comuniquen con el principal (AU-Unidad de Acceso).

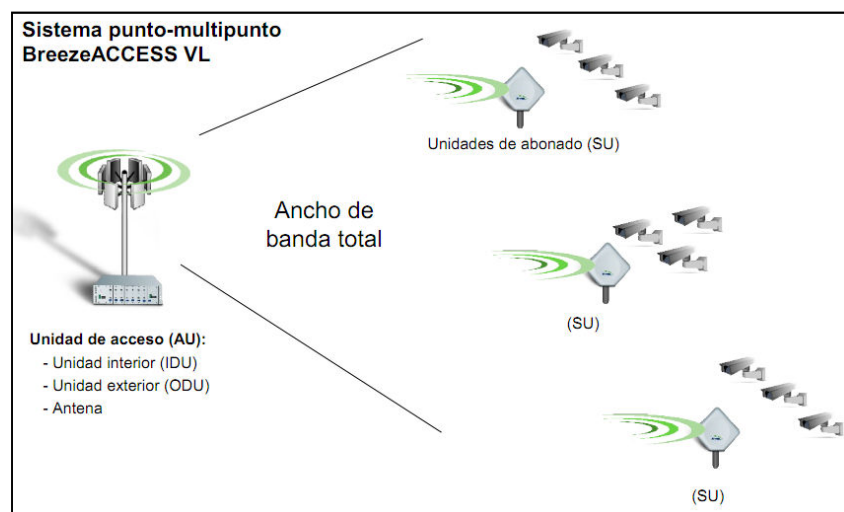


Fig. 8. Distribución del ancho de banda en los equipos BreezeACCESS VL

En este producto, las características son muy similares a las de los sistemas punto a punto comentadas anteriormente.

Una de las pocas diferencias es que los canales pueden ser de 10 y 20 MHz en lugar de 20MHz y 40 MHz. Eso es gracias a no haber velocidades tan elevadas ya que está orientado a una topología de red centralizada en la que habrán pequeñas o medianas aportaciones de diferentes clientes hacia un punto en común.

3.1.2.3. **Sistemas multipunto: BreezeMAX**

En esta gama de altas prestaciones se añaden mejoras de rendimiento gracias al uso íntegro del protocolo de movilidad de WiMAX 802.16e.

La principal característica es el uso de SOFDMA (Scalable OFDMA). Esta técnica se basa en adaptar el tamaño de la FFT según el ancho de banda del canal fijando el espacio entre subportadoras y en consecuencia el tiempo de símbolo para adaptarse con mucha rapidez a los cambios del canal.

Por otro lado el hecho de haber más subportadoras proporciona más robustez a la señal ya que está dividida en un número mayor de señales. Dicha propiedad está reflejada en la figura 9, donde se muestran el estándar con diferente número de portadoras y los anchos de banda de canal utilizados.

La información referente a dicho estándar y su comparativa con el 802.11 se puede consultar en el anexo [2].

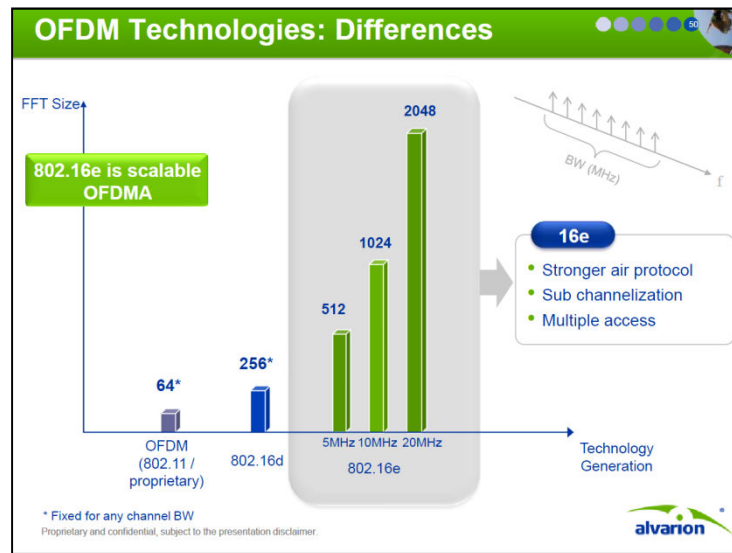


Fig. 9. Puntos FFT en función del ancho de banda de canal

Por otro lado añade:

- Mejoras el rendimiento en entornos NLOS (urbano/semiurbano)
- Mejoras en la encriptación
- Un nivel más de QoS
- Mejoras en la selección de canal dinámica.
- Compatibilidad con transmisiones Multicast.
- Permite sectorización.
- Permite mayores distancias
- Etc...

3.2. Selección de producto

3.2.1. Comparativa comercial

En cuanto al producto comercial ofrecido por Wireless BCN podemos comentar que contempla las propiedades de 802.11n con todos los complementos que permiten sus mejores prestaciones.

La tasa de bit indicada es teórica y orientada a interiores ya que coincide aproximadamente con la que contempla la norma.

La seguridad esta basada en el algoritmo AES. Además se comenta la posibilidad de realizar filtrados mediante MAC, autenticación de RADIUS, etc.

La distancia que se contempla de 4 Km, según las especificaciones de la norma es un tanto elevada. La estabilidad de un enlace 802.11n a esta distancia es delicada y algo que no se puede contemplar como solución.

El producto de ALVARION según sus especificaciones dispone de una escalabilidad mucho mayor, contemplando los criterios de la norma 802.16.

Los cambios de modulación que permite el estándar en función del nivel de señal recibido son expuestos en forma de led en la propia antena, como se muestra en la figura 10, y están claramente tabulados.

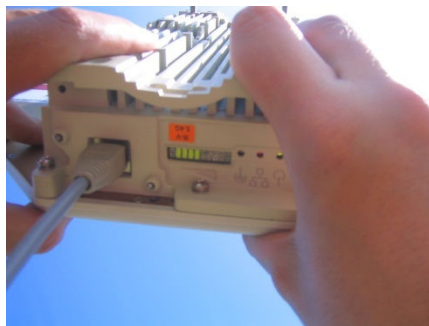


Fig. 10. Leds de nivel de señal en subscritor de Alvarion

Por otro lado la potencia de transmisión es menor y permite trabajar en más banda de frecuencias.

También se incluye duplexación temporal para gestionar con una técnica adicional y más eficiente el espectro.

3.2.2. Solución escogida

La elección se decide resumidamente mediante cuatro criterios principales:

- Seguridad

Al tratarse de un sistema de video vigilancia las mejoras en este aspecto que incorpora WiMAX son vitales. La idea de que alguien pueda acceder a imágenes de cualquier parte del campo de golf es intolerable y no se debería escatimar en medios en cuanto a seguridad de un medio de transmisión de un

sistema de video vigilancia. WiMAX contempla mejoras en control de acceso y encriptación especiales del estándar 802.16 basadas en el algoritmo AES.

- Eficiencia

El estándar 802.16 contempla tecnologías y propiedades que se están potenciando en otros sistemas como en comunicaciones móviles y por tanto su vigencia es más reciente. Es más eficiente para transmitir ya sea por la detección/corrección, por la mejor gestión de recursos, por la modulación adaptativa, etc.

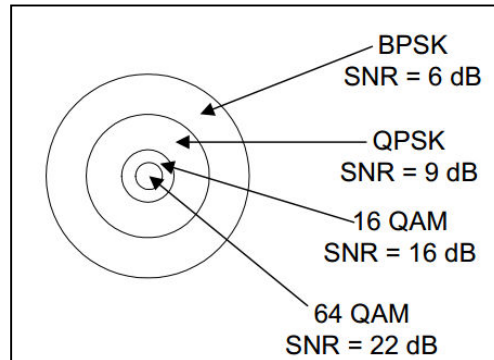


Fig. 11. Modulación adaptativa

- Distancia y LOS

El campo de golf tienen distancias de casi 2 Km de extremo a extremo y las línea de visión en algunos casos no puede ser directa por las irregularidades del terreno, viviendas, vegetación, etc.

Son aspectos claves para determinar la viabilidad mediante una tecnología u otra el hecho de disponer de un perfil de terreno irregular y distancias del orden del kilómetro, ver figura 12.



Fig. 12. Perfil de terreno del campo de golf

- Factor económico

Es de esperar que los enlaces con tecnología WiMAX vayan a ser más costosos. Aunque las prestaciones que asegura ALVARION y el estándar 802.16 justifican en este escenario su precio.

Desafortunadamente no se han podido obtener los precios del producto de la empresa Electrónica Barcelona aunque si los precios de ALVARION que serán comentados en el presupuesto mas adelante.


Tipo de producto	Punto-Punto	Multipunto	Punto-Punto	Multipunto
Referencia	WiatreaDual18	WistramAP	BU/RB-B14-5.4	AUS-D-SA-5.4-120-VL
Fabricante	Wireless BCN	Wireless BCN	ALVARION	ALVARION
Imagen				

Fig. 13 Tabla descriptiva de los equipos de interés de Electrónica Barcelona y ALVARION

CAPITULO 4. PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA

Con el fin de poder entender mejor el funcionamiento de los diferentes sistemas que se utilizarán para prever el comportamiento del canal radio, se incorpora este capítulo en el que partimos de concepto de canal radio y sus propiedades. A continuación se clasifica brevemente los modelos de propagación más comunes y se escoge el que se adecua con más precisión a la aplicación tratada en este proyecto.

En las referencias bibliográficas [13,14, 15] se puede consultar esta información.

No solo se contempla el comportamiento sino que se escoge un modelo de propagación que se ajuste a nuestro entorno y a las características de la señal a transmitir.

4.1. Propiedades de canal radio

Cuando se recibe la señal de radio, el receptor no obtiene exactamente la señal que transmite el emisor, esto es debido al canal radio.

Estas son las principales características:

- Introduce pérdidas de potencia
- Puede ocasionar distorsión en las señales radio enviadas
- El medio es variante con el tiempo
- Resulta necesaria una CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA del comportamiento del canal radio debido a la complejidad del problema donde se mezclan varios fenómenos. Se nombran a continuación y algunos de ellos se muestran en la figura 14.
 - Refracción (atmósfera)
 - Reflexión (suelo, edificio, etc.)
 - Difracción / Scattering (clutter)
 - Absorción (lluvia, nieve, etc.)

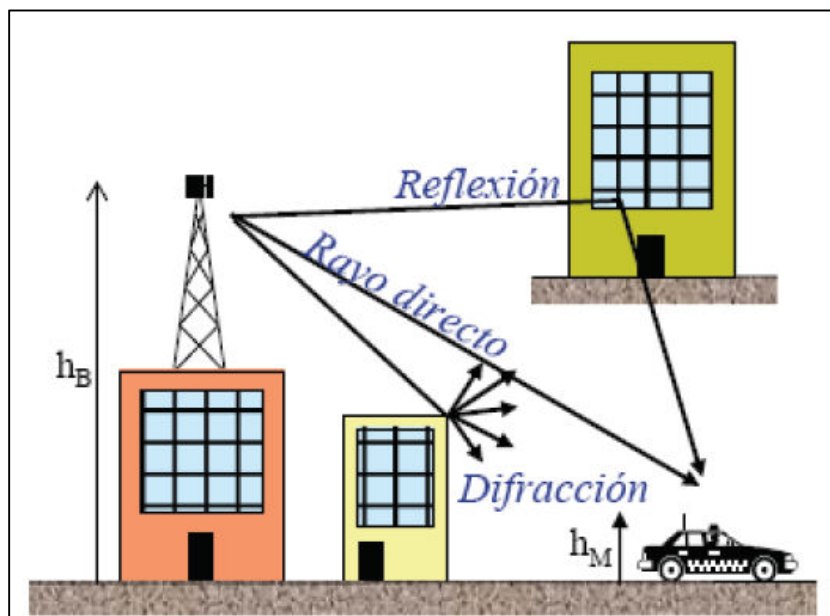


Fig. 14. Efectos básicos del canal radio

4.2. Modelos de propagación

La tabla de la figura 15 proporciona, de forma no exhaustiva, una posible clasificación de algunos de los principales modelos de propagación existentes en función de su ámbito de aplicación (rural/urbano) y del tipo de modelo según su grado de soporte en medidas experimentales.

	RURAL		URBANO	
	Curvas	Fórmulas	Curvas	Fórmulas
EMPÍRICOS	IUT-R 370	Egli	Okomura	Hata
SEMIEMPÍRICOS		Langley-Rice		Lee
		Deygout		Ikegami
		Wilkerson		Walfish-Bertoni
ELECTROMAGN		Epstein&Peterson		COST231
		UTD		

Fig. 15. Modelos de propagación principales en función del entorno a tratar

Para este proyecto es necesario tener en cuenta que el entorno no es urbano. Hay algunas viviendas y edificios pero abunda más el espacio libre y la vegetación. Por otro lado la tecnología empleada soporta NLOS.

A pesar del gran número de modelos que existe para caracterizar las pérdidas por propagación en comunicaciones inalámbricas, el grupo de la IEEE 802.16 desarrollo un modelo propio para las pérdidas por propagación.

El grupo 802.16 del IEEE, conjuntamente con la Universidad de Stanford, llevó a cabo un extenso trabajo de investigación con el propósito de desarrollar un modelo de canal WiMAX para entornos suburbanos.

Uno de los resultados más importantes obtenidos fue el modelo de pérdida de propagación SUI [13], el cual es una extensión del trabajo previo desarrollado por AT&T Wireless y el análisis del mismo hecho por Erceg.

Según la documentación del IEEE 802.16, el modelo SUI es un método de estimación apropiado para sistemas WiMAX y BFWA (BroadbandFixed

Wireless Applications). Los detalles del modelo escogido se pueden consultar en la web de “Simulación profesional de cobertura radioeléctrica online”, <http://www.xirio-online.com>.

A continuación se describe el modelo SUI y algunas variaciones del mismo que añaden factores de corrección.

4.3. Modelo SUI básico (o modelo Erceg)

Para calcular la pérdida básica de propagación, el modelo SUI propone agrupar los escenarios de propagación en tres diferentes categorías, cada una con sus características propias:

- Categoría A: terreno montañoso con niveles medios y altos de vegetación, que corresponde a condiciones de pérdidas elevadas.
- Categoría B: terreno montañoso con niveles bajos de vegetación, o zonas llanas con niveles medios y altos de vegetación. Nivel medio de pérdidas.
- Categoría C: zonas llanas con densidad de vegetación muy baja o nula. Corresponde a trayectos donde las pérdidas son bajas.

Para los tres escenarios, las características generales son, típicamente, las siguientes:

- Tamaño de las celdas < 10 km.
- Altura de la antena del receptor: 2 a 10 m.
- Altura de la antena de la estación base: 15 a 40 m.
- Requisito de porcentaje de cobertura elevado (80%-90%).

El modelo SUI básico propuesto por el IEEE, está basado en el modelo de Erceg para frecuencias cercanas a 2 GHz, altura de antena receptora menor a 2 m, y debe aplicarse a entornos suburbanos.

En el mismo se define la siguiente expresión para la pérdida básica de propagación:

$$L_b(dB) = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s$$

Donde:

$$d > d_0$$

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_{bts}}$$

$$d_0 = 100m$$

$$10m < h_b < 80m$$

$$8.2dB < s < 10.6dB$$

d: distancia entre base y receptor (m).

λ : longitud de onda (m) ; $f \leq 2$ GHz

γ : exponente de pérdidas.

h_{bts} : altura de la estación base (m).

s : efecto de shadowing.

a, b, c : constantes que dependen de la categoría del terreno, ver figura 16.

Erceg A: Aplicable a terrenos montañosos con mediana/alta densidad de arboles.

Erceg B: Aplicable a terrenos montañosos con baja densidad de arboles o a terrenos llanos con moderada/alta densidad de arboles.

Erceg C: Aplicable a terrenos llanos con baja densidad de arboles.

	Erceg A	Erceg B	Erceg C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20

Fig. 16. Parámetros del modelo Erceg en función de las condiciones del terreno

4.4. Modelo SUI con factor de corrección de frecuencia

Para frecuencias mayores a 2 GHz y contemplando la altura de antena receptora (h) entre 2 y 10 m, se introducen factores de corrección al modelo básico, previamente estudiado.

$$L_b(dB) = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s + \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}$$

Donde:

ΔL_{bf} : factor de corrección para la frecuencia

$$\Delta L_{bf} = 6.0 \log\left(\frac{f}{2000}\right) \rightarrow f \text{ en MHz}$$

ΔL_{bh} : factor de corrección para la altura de antena del receptor, h :

$$\Delta L_{bh} = \begin{cases} -10.8 \log\left(\frac{h}{2}\right) & \text{para terrenos tipo A y B} \\ -20 \log\left(\frac{h}{2}\right) & \text{para terrenos tipo C} \end{cases}$$

4.5. Modelo SUI extendido

El modelo SUI modificado propuesto por el IEEE 802.16 modifica el factor de corrección ΔL_{bh} en función de los propuestos por Okumura. Esta modificación supone un recálculo de la distancia de referencia d_0 que asume ahora el valor d'_0 , dado. Se definen así las siguientes expresiones para el cálculo de la pérdida básica de propagación:

$$L_b = \begin{cases} 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) & \text{para } d \leq d'_0 \\ A + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta L_{bf} + \Delta L'_{bh} & \text{para } d > d'_0 \end{cases}$$

Donde:

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d'_0}{\lambda} \right)$$

$$d'_0 = d_0 10^{-\left(\frac{\Delta L_{bf} + \Delta L'_{bh}}{10\gamma}\right)}$$

$$\gamma = a - bh_{bts} + \frac{c}{h_{bts}}$$

ΔL_{bf} : factor de corrección para la frecuencia, igual que el modelo anterior

$$\Delta L_{bf} = 6.0 \log \left(\frac{f}{2000} \right)$$

$\Delta L'_{bh}$: nuevo factor de corrección para la altura de antena del receptor, h:

$$\Delta L'_{bh} = \begin{cases} -10 \log \left(\frac{h}{3} \right) & \text{para } h \leq 3m \\ -20 \log \left(\frac{h}{3} \right) & \text{para } h > 3m \end{cases}$$

Los parámetros a, b, c y d_0 del modelo, son aquellos definidos en el apartado anterior.

4.6. Herramienta de simulación de Alvarion

La herramienta que nos ofrece ALVARION es para simular enlaces punto a punto. El acceso a esta herramienta se obtiene iniciando sesión en la sección de “Partners” de la web oficial de Alvarion [2]. Dicho acceso está limitado para empresas y se ha podido utilizar gracias a la colaboración de la delegación de Alvarion en España.

De modo que las pruebas se realizarán con enlaces punto a punto desde cada punto del mapa con respecto al punto de centralización, el Hotel.

Más adelante se deberá contemplar que en el Hotel se ubicara una antena de gran capacidad (multipunto) que se comunicara con todos los puntos del mapa para optimizar la instalación.

El simulador trabaja con las condiciones siguientes:

- Modelo de propagación de doble pendiente o Dual Slope, basado en modelo de pérdidas en espacio libre.
- LOS
- Enlace punto a punto
- Viabilidad y cálculos de propagación de RF basados en los definidos en UIT-R P.530-12, ITU R P.676, ITU R P.453-9, ITU-R P.676-6, ITU-R P.838-3, ITU-R P.837-5 y ITU-R P.1510.
- Margen de Fading automático: utiliza una fórmula (no revelada por el fabricante) que toma en cuenta la frecuencia, la distancia y el clima para la ubicación específica con el objetivo de lograr al menos 99.95% de viabilidad.
- Desvanecimientos por condiciones atmosféricas típicas contemplados en función de las coordenadas introducidas.

La alimentación eléctrica se puede extraer de cajas “Himel” que hay a lo largo de las calles de la urbanización. Dichas cajas se desconoce inicialmente el punto exacto en el que están y es algo a lo que habrá que adaptarse en la parte experimental.

5.2. Topología de red

A continuación se comentan las topologías pensadas para la red.

En primer lugar realizará un breve estudio referente a la topología tipo estrella y en segundo lugar se realiza lo mismo para la red tipo Mesh.

5.2.1. Topología en estrella

Una red en estrella es una red en la cual las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de este.

Ventajas topología estrella

- La estructura en estrella aporta sencillez y control centralizado al diseño.
- Para añadir algún enlace, sólo hay que conectarlo contra la centralización.
- Cada enlace envía la información que le corresponde transmitir y no hay tráfico ajeno a éste. Se evitan posibles sobrecargas en la red.

Desventajas topología estrella

- Toda la red depende de la estación base situada en el Hotel. Para mas seguridad se debería disponer de una segunda BTS de redundancia.
- La estación base debe soportar el procesado y debe tener capacidad para admitir un número, en ocasiones limitado, de clientes.

En la tabla de la figura 18 se muestran los enlaces y los requisitos de ancho de banda para cada uno de ellos en la red con topología tipo estrella.

Nº de enlace	Nº de cámaras que transmite	BW acumulado
1-C	2	2Mbps
2-C	2	2Mbps
3-C	3	3Mbps
4-C	2	2Mbps
5-C	2	2Mbps
6-C	2	2Mbps
7-C	2	2Mbps

Fig. 18. Tabla donde se muestran los enlaces del Club de Golf planificados y su ancho de banda necesario en función del número de cámaras para la topología en estrella.



Fig. 19. Mapa con los enlaces planificados tras las simulaciones

En la figura 19 se muestra la distribución de los diferentes puntos del campo de golf y como se conectan con el elemento de centralización marcado con una "C" en la figura.

5.2.2. Topología tipo Mesh

La idea de una red tipo Mesh es evitar los enlaces directos con el punto central y tratar de comunicar los enlaces más alejados con la centralización a través de enlaces intermedios. Esto conlleva modificar el tamaño de los flujos de datos de todos los enlaces en función del ancho de banda de transmisión que acumulen.

Ventajas topología mesh

- Para añadir algún enlace, sólo hay que conectarlo contra alguno de los puntos cercanos de la red.
- Permite llegar a puntos cubiertos por obstáculos impenetrables por las ondas radioeléctricas.
- Permite alcanzar distancias mayores gracias a los saltos intermedios.

Desventajas topología mesh

- Cada enlace envía la información que le corresponde transmitir y además la información de otros enlaces aportando tráfico ajeno a éste primero. Posibles sobrecargas en la red así como cuellos de botella.
- La estructura en mesh añade complejidad al diseño.
- Toda la red depende de la estación base situada en el Hotel. Para mas seguridad se debería disponer de una segunda BTS de redundancia.
- La estación base debe soportar el procesado y debe tener capacidad para admitir un número, en ocasiones limitado, de clientes.

Nº de punto	Nombre del punto	Nº de cámaras	BW necesario del punto
1	Acceso principal	2	6Mbps
2	Carretera 1	2	6Mbps
3	Acceso 2	3	9Mbps
4	Calle alargada	2	6Mbps
5	Fondo izquierda	2	6Mbps
6	Fondo	2	6Mbps
7	Fondo derecha	2	6Mbps
8	Carretera 2	2	6Mbps

Fig. 20. Tabla donde se muestran los puntos del Club de Golf planificados y su ancho de banda necesario en función del número de cámaras.

Nº de enlace	Nº de cámaras que transmite	BW acumulado
1-C	2	6Mbps
2-C	2	6Mbps
3-C	7	21Mbps
4-3	4	12Mbps
5-4	2	6Mbps
6-8	2	6Mbps
7-8	2	6Mbps
8-C	6	18Mbps

Fig. 21. Tabla donde se muestran los enlaces del Club de Golf planificados y su ancho de banda necesario en función del número de cámaras para la topología tipo Mesh.

En la figura 20 se puede apreciar los requisitos de ancho de banda de cada punto en concreto y en la 21 el ancho de banda acumulado en cada enlace en función de los requisitos de la tabla de la figura 20.

Un posible diseño de la red sería el mostrado en la figura 22. En ella se muestran los mismos puntos mostrados en la topología en estrella, esta vez, con saltos intermedios en los puntos mas alejados.

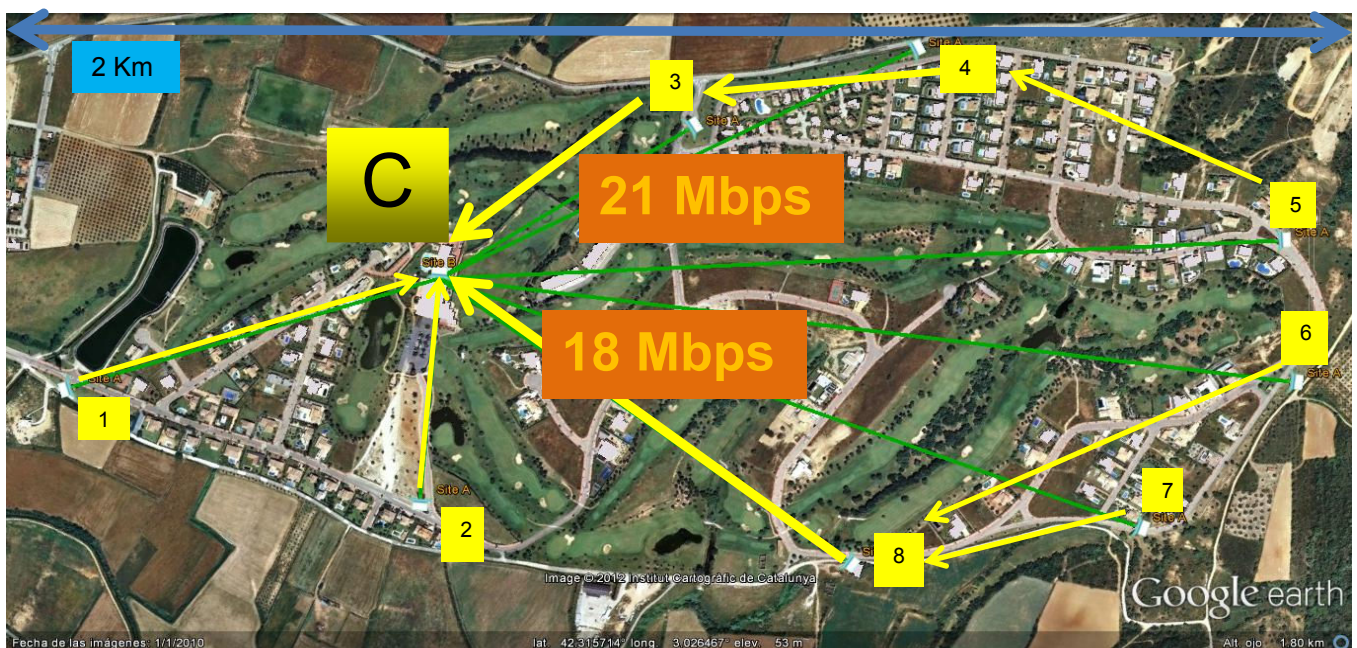


Fig. 22. Propuesta de red tipo MESH

➤ Rama superior

Se parte de la condición de que cada punto debe disponer de los anchos de banda marcados en la tabla de la figura 20.

Dicho esto, por la rama superior se acumulan los anchos de banda de los puntos 5, 4 y 3. Es decir, 6 Mbps, 6 Mbps y 9 Mbps, respectivamente.

Esta arquitectura de red requeriría un ancho de banda total en el enlace que forman el punto 3 y la centralización de 21 Mbps.

Hay que tener en cuenta que en esta estructura de red se reparte la capacidad de la red dejando los puntos más cercanos a la centralización con más relevancia y con más Throughput necesario.

Por otro lado, también comentar que en cada punto debe instalarse equipos de Alvarion diferentes ya que se diferencian principalmente por el ancho de banda de transmisión permitido.

➤ Rama inferior

En cuanto la rama inferior se acumularía los 6 Mbps del punto 6 y los 6 Mbps del punto 7 hacia el punto 8.

Se transmitiría un total de 18 Mbps desde el punto 8 hacia la centralización.

➤ Enlaces directos

En este caso los enlaces que forman los puntos 1 y 2 irían directamente por proximidad.

Es una solución muy atractiva cuando hay grandes obstáculos que no permiten un buen rendimiento ni siquiera en NLOS, cómo se muestra en la figura 23. También se puede utilizar para obtener un aumento de la cobertura en puntos muy alejados aunque este no es nuestro caso.

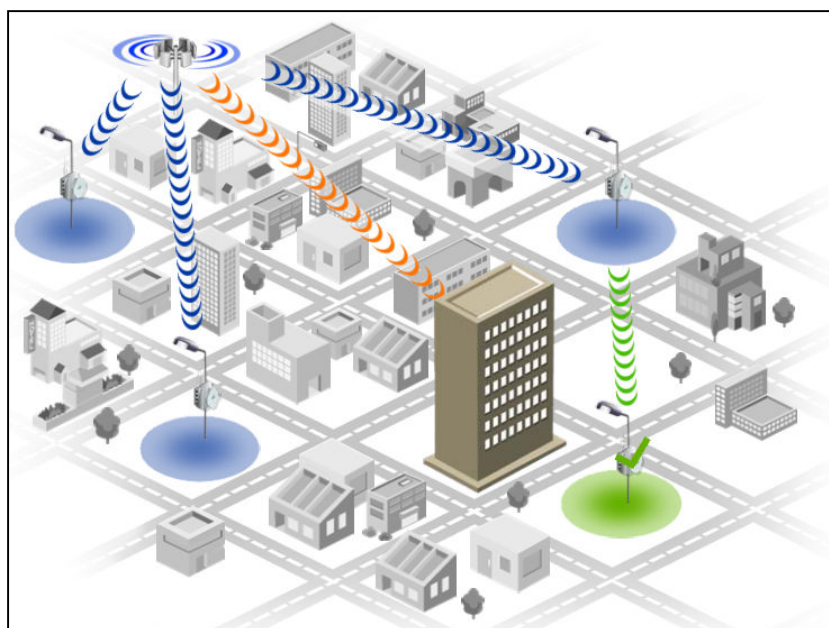


Fig. 23. Solución tipo MESH frente a obstáculos

Por otro lado incrementa la complejidad de la estructura de la red, pueden aumentar los tiempos de proceso y de transmisión llegando a la congestión de los puntos intermedios.

5.1.6. Topología seleccionada

La topología de red escogida para este proyecto es de tipo estrella. Dicha arquitectura es así por tener un punto de altura propiedad del campo de golf, por la necesidad de centralizar las imágenes en un puesto de vigilancia y por ser una arquitectura menos compleja y costosa.

Todas las medidas las realizaremos con respecto al punto de centralización, el Hotel. Dicho punto lo tomaremos con una altura de referencia y podemos añadir altura en función del mástil que necesitemos.

En la figura 24 se puede apreciar una fotografía del hotel en perspectiva donde se aprecia la altura del edificio con respecto al entorno.



Fig. 24. Hotel del campo de golf de Peralada

En este punto se ubicará el DVR (Digital Video Recorder) donde se almacenará las imágenes de todo el perímetro y donde se realizarán las tareas de vigilancia. Desde éste punto se puede conectar el equipo a una red local o a Internet para poder acceder a las imágenes desde cualquier lugar con conectividad IP.

5.3. Planificación y viabilidad de enlaces

Una vez seleccionada la topología a utilizar pasaremos a realizar el análisis de viabilidad de los enlaces mediante las herramientas que el fabricante (ALVARION) nos proporciona con los datos del escenario.

La idea es centralizar todas las señales de cámaras de video vigilancia en el Hotel, de modo que puedan almacenarse allí las mismas.

La infraestructura del Hotel permite tener una buena altura para ubicar una antena de gran capacidad omnidireccional y que se pueda tener control de las cámaras remotamente para realizar un posible seguimiento de intrusión.

A continuación se realiza el proceso de simulación y los resultados de las mismas antes de comenzar con la parte experimental.

5.3.1. Simulación con herramienta PtP de ALVARION

En primer lugar se muestra la herramienta de Alvarion y cuales son sus inputs. También se muestra el proceso que se ha seguido para obtener valores lo mas realistas posibles.

En la figura 25 se presentan los datos de los diferentes puntos del campo de golf mediante la arquitectura en estrella (ver mapa en figura 19).

Enlace	Nombre del punto	Altura antena (m)	Distancia hasta la BTS (Km)
1-C	Acceso principal	5	0.59
2-C	Carretera 1	3	0.34
3-C	Acceso 2	3	0.44
4-C	Calle alargada	5	0.79
5-C	Fondo izquierda	5	1.25
6-C	Fondo	3	1.27
7-C	Fondo derecha	3	1.11
8-C	Carretera 2	3	0.75
	Antena Hotel	18	

Fig. 25. Tabla donde se muestran los puntos del Club de Golf planificados, la altura del mástil necesaria y la distancia con respecto al punto de centralización.

Como se muestra en la figura 26, la información de entrada de la herramienta de simulación es:

- Coordenadas geográficas
- Altura de antenas
- Condiciones de terreno y climatológicas

Comenzaremos por el primer enlace entre el acceso principal y el punto de centralización.

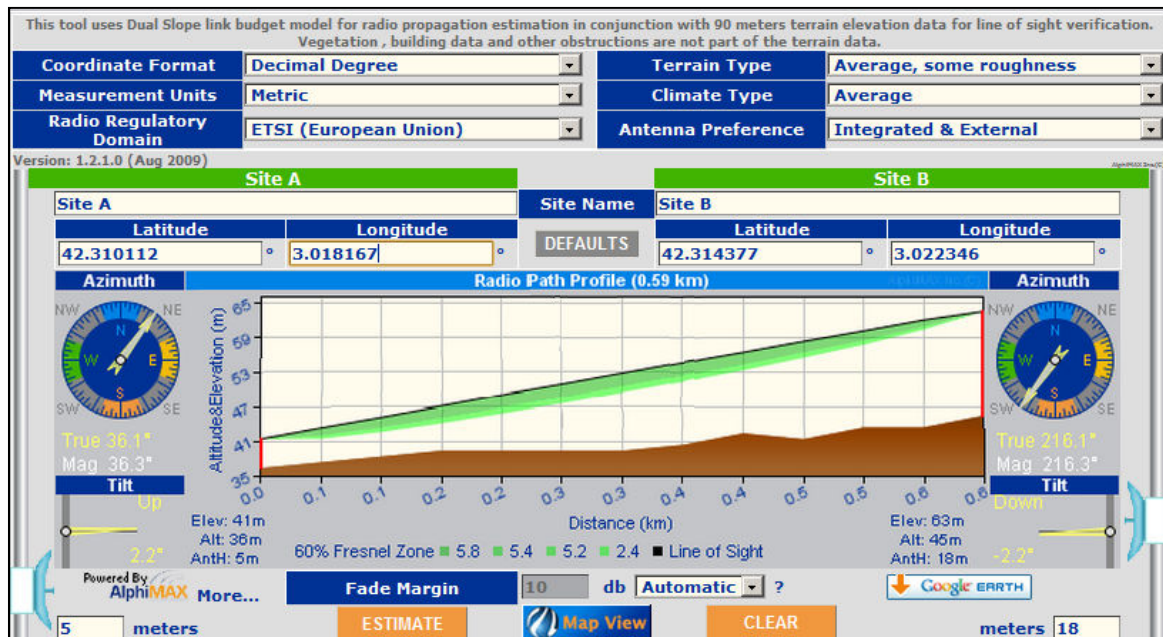


Fig. 26. Herramienta de simulación de Alvarion

En la primera parte de la simulación obtenemos una visión general del enlace, así como la pendiente del haz, la zona de Fresnel, el perfil de terreno entre ambos puntos, el Tilt a configurar, el Azimuth y la distancia del enlace.

Se detallan dichos puntos a continuación:

- Pendiente del haz: Nos permite apreciar, en función del perfil de terreno, la diferencia de alturas que existen entre los puntos que generan el enlace.
- Zona de Fresnel: Se muestra el porcentaje de la primera zona de Fresnel que ha de quedar libre en función de la banda de trabajo.
- Es importante tener en cuenta que no se contemplan edificios en dicha simulación. De forma que mediante la exportación a Google Earth se debe revisar, de lo contrario podría quedar cubierta dicha zona de Fresnel.
- Perfil de terreno: Este aspecto es muy importante ya que dicho perfil puede dejar a ambos puntos a alturas muy diferentes. También es

relevante para la propagación de la señal radio si el terreno es plano o irregular.

- Tilt: Contando con las alturas de los mástiles y las condiciones de terreno, la herramienta calcula los grados de inclinación (antena direccional) que debe ajustarse en cada extremo.
- Azimuth: Se registra el Azimuth y permite saber la orientación geográfica de cara a instalar la antena junto con el resto de coordenadas.
- Distancia del enlace: Estima mediante las coordenadas del input la longitud de la pendiente que se muestra de forma gráfica.

Si en este punto no encontramos ningún problema, el siguiente paso es exportar dicha simulación a Google Earth para comprobar:

- 1º Que no haya edificios que interfieran relevantemente en la trayectoria de la señal.
- 2º Que las alturas de las antenas sean razonables contemplando la altura de los edificios.

La vegetación no la podemos contemplar con ninguna de las dos herramientas y es algo que hay que ajustar presencialmente en el emplazamiento. Por ello siempre son necesarias las pruebas de campo, como las que se han realizado en este TFC y cuyos resultados se muestran en el capítulo 6.

El ancho de banda que queramos transmitir y la calidad del enlace pueden quedar reducidos si no se contemplan estos detalles. En el caso que hubiera algún tipo de disminución de rendimiento por falta de visión directa, éste se reproduciría mediante una disminución del ancho de banda de transmisión entre otras cosas.

Hay que tener en cuenta que aunque el simulador no contemple NLOS, la tecnología utilizada en la transmisión si debería hacerlo puesto que en la práctica pueden aparecer obstáculos que no aparecen en los modelos ni las simulaciones. En la figura 27 se aprecia este efecto ya que el haz es interrumpido por un edificio en mitad de la trayectoria.

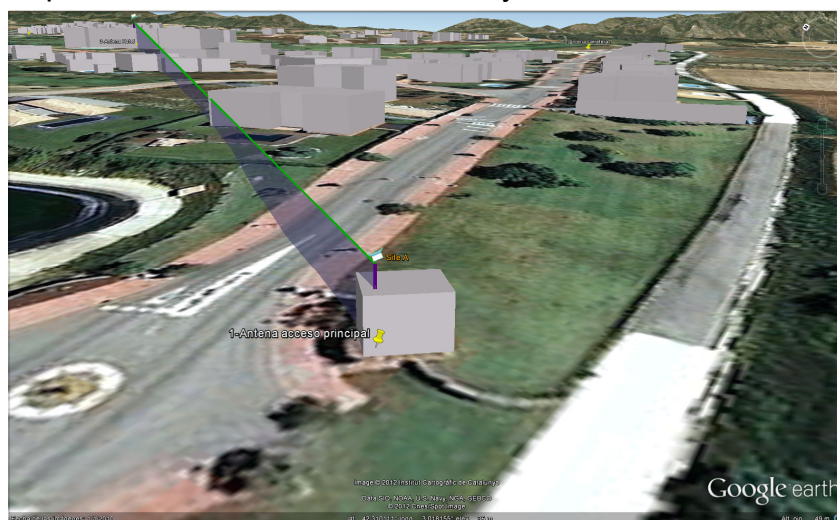


Fig. 27. Exportación de la simulación de la herramienta PtP de Alvarion a Google Earth.

Para evitar la falta de LOS de este enlace ajustaremos las coordenadas y la altura para optimizar el emplazamiento. Esta acción se realiza para todos los enlaces con respecto al punto de centralización.

Tras los ajustes, volvemos a la herramienta PtP de Alvarion y escogemos:

- El organismo de regulación radio: ETSI, FCC, UK, UN, CU o AR.
- La frecuencia de trabajo: 2.4, 4.9, 5.2, 5.3, 5.4 o 5.8 GHz
- El ancho de banda de canal: 5, 10, 20 o 40 MHz.
- Producto (en función del Throughput necesario): varios
- Duplexado: Sin Duplexado o FDD.
- Tipo de antena: Integrada o externa (no es posible modificar la externa).

En la figura 28 se muestran los resultados numéricos del primer enlace.

Manufacturer	Alvarion	Product Family	BreezeNET B
Product Name	BU/RB-B14-5.4	Part Number	854251
Product Description	Point to Point Wireless Bridge	Radio Technology	OFDM
Band (GHz)	5.4	Licensed Band	No
Antenna System Mode	SISO	Duplex	TDD
Regulatory Domain	ETSI (European Union)	Max EIRP (dBm)	30
Channel Bandwidth (MHz)	10	Frequency Range (MHz)	5470..5725
Link Availability (%)	100	Link Outage (Min/yr)	00:00:00.00
Link System Gain (db)	145	Mod Rate System Gain (db)	141
Link Path Loss (db)	103	Min Fade Margin used (db)	10
Link Fade Margin (db)	42	Mod Rate Fade Margin (db)	38
Modulation Rate #	4	Modulation Rate	QPSK 3/4
Availability (%)	100	Mod Rate Outage (Min/yr)	00:00:00.00
Maximum uni-directional Layer 2 (Ethernet/TDM) throughput at modulation rate (Mbps)			
Maximum achievable Net Layer 3 (FTP) uni-directional throughput at modulation rate (Mbps)			
Maximum achievable Layer 2 (Ethernet/TDM) bi-directional throughput at modulation rate (Mbps)			
Integrated Antenna Type			
Description	Integrated 5.x GHz 21 dBi Flat Panel Antenna		
Antenna Name	ALVR-UNI-21-5.x	Antenna Gain (dBi)	21
Vertical Beamwidth (°)	10.5	Horizontal Beamwidth (°)	10.5

Fig. 28. Resultados numéricos de la simulación realizada con la herramienta PtP de Alvarion

En este caso los datos de entrada para obtener dichos resultados son los siguientes:

- El organismo de regulación radio: ETSI.
- La frecuencia de trabajo: 5.4 GHz
- El ancho de banda de canal: 10 MHz.
- Producto (en función del Throughput necesario): producto BreezeNET B14 (7 Mbps)
- Duplexado: FDD.
- Tipo de antena: Integrada.

Dichas especificaciones se han realizado de acuerdo a la configuración de los equipos se disponen en el laboratorio para realizar medidas.

Los resultados más relevantes son las pérdidas de propagación, las ganancias, la modulación utilizada y la viabilidad en % del enlace.

5.4. Resultados

5.4.1. Resultados simulación

De estos resultados simulados se realiza la comparativa con el modelo de propagación SUI extendido y con los resultados experimentales más adelante.

Tras iterar en el proceso de simulación y cálculo hasta alcanzar la máxima viabilidad de enlaces, se obtienen los resultados de la tabla 29. Dicho proceso, para cada punto, se encuentra en el anexo [3].

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Altura antena (m)	Distancia (Km)	Pérdidas del enlace (dB)	Margen de Fading (dB)	Clearance (m)
1-C	Acceso principal	2	6Mbps	5	0.59	103	39	6
2-C	Carretera 1	2	6Mbps	3	0.34	98.2	44	4
3-C	Acceso 2	3	9Mbps	3	0.44	100.4	42	3
4-C	Calle alargada	2	6Mbps	5	0.79	105.5	37	3
5-C	Fondo izquierda	2	6Mbps	5	1.25	109.5	33	3
6-C	Fondo	1	4Mbps	3	1.27	109.6	32	2
7-C	Fondo derecha	2	6Mbps	3	1.11	108.5	34	7
8-C	Carretera 2	2	6Mbps	3	0.75	105.1	37	2

Fig. 29. Tabla de detalles y resultados de las pérdidas de propagación de los enlaces tras la simulación

5.4.2 Resultados modelo de propagación SUI Extendido

Para obtener las pérdidas de propagación mediante el modelo SUI Extendido se requiere conocer tres valores: la altura de las antenas, la frecuencia de trabajo y la distancia del enlace.

Deberemos hacer los cálculos teóricos ya que el modelo de propagación del simulador es de doble pendiente pero el fabricante no especifica más detalles.

El modelo de propagación utilizado se compone del modelo de espacio libre hasta una distancia de referencia que depende de las alturas de las antenas y de la frecuencia de trabajo. Luego utiliza las aproximaciones comentadas en el capítulo de propagación.

La gráfica de la figura 30 muestra las pérdidas de propagación en función de la distancia del modelo utilizado y se ha realizado con 5GHz, 18m de altura de BTS y 2m de altura de antena de subscriptor.

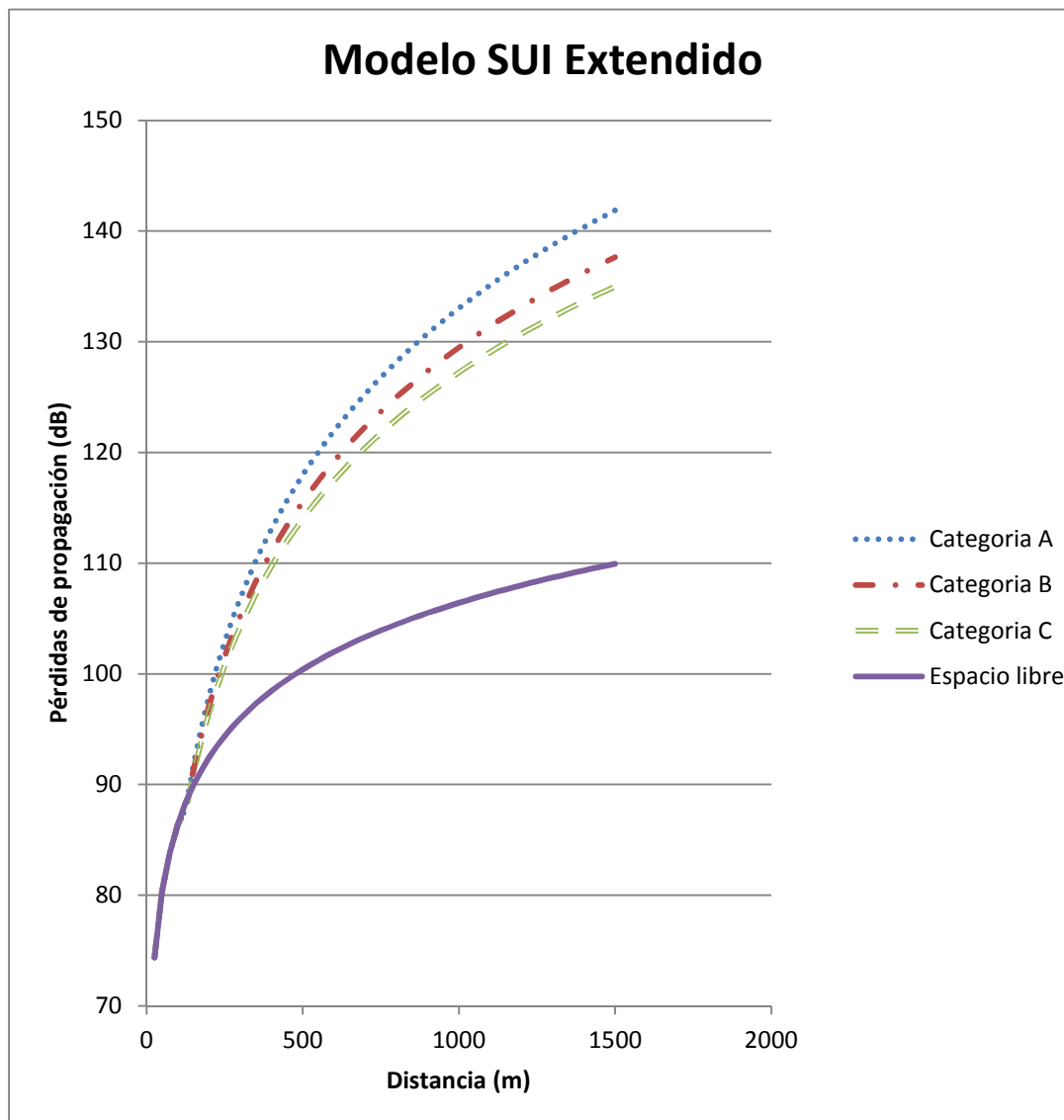


Fig. 30. Gráfica de pérdidas de propagación en función de la distancia del modelo utilizado en sus tres tipos de condición de terreno y del modelo de espacio libre.

En la figura 30 podemos apreciar las tres curvas correspondientes a las tres categorías de terreno contempladas en dicho modelo y la curva de pérdidas en espacio libre que comparte, como se ha comentado, el inicio de su pendiente con las otras tres.

Aplicando el modelo de propagación SUI extendido los resultados para cada enlace se muestran en la tabla de la figura 31:

Nº de enlace	Nombre del enlace	Altura antena (m)	Distancia (Km)	Pérdidas del enlace simulación (dB)	Pérdidas del enlace modelo de propagación SUI Extendido (dB)	
						Categoría aplicada
1-C	Acceso principal	5	0.59	103	115	c
2-C	Carretera 1	3	0.34	98.2	105	c
3-C	Acceso 2	3	0.44	100.4	101.1	a
4-C	Calle alargada	5	0.79	105.5	105	b
5-C	Fondo izquierda	5	1.25	109.5	111.5	b
6-C	Fondo	3	1.27	109.6	108.5	b
7-C	Fondo derecha	3	1.11	108.5	111.5	b
8-C	Carretera 2	3	0.75	105.1	114	c

Fig. 31. Pérdidas de propagación calculadas mediante la simulación y mediante el modelo de propagación escogido

En los enlaces 1-C, 2-C y 8-C se ha aplicado la categoría de terreno que menos atenuación comporta, la c. Esto es debido a que las condiciones de terreno son óptimas según el estudio realizado en las simulaciones, presentan una densidad baja de vegetación y el terreno no presenta demasiadas irregularidades.

En el caso de los enlaces del 4-C al 7-C se ha aplicado la categoría intermedia por haber algunas irregularidades de terreno relevantes y vegetación en el entorno de dichos enlaces que puede afectar al nivel de señal recibida.

La categoría que contempla más pérdidas, la a, se ha aplicado al enlace 3-C por estar situado en una zona con elevada densidad de vegetación.

CAPITULO 6. MEDIDAS DE CAMPO

6.1. Especificaciones de las medidas

6.1.1. Objetivo de la pruebas

Las medidas de campo son necesarias para verificar la precisión y fiabilidad de las simulaciones y cálculos realizados previamente. Además permite ajustar cálculos teniendo en cuenta condiciones reales de trabajo.

Se parte del estudio realizado previamente como referencia para realizar dichas medidas.

Las medidas obtenidas para cada uno de los enlaces probados experimentalmente son:

- Relación señal/ruido SNR en recepción
- Potencia de ruido recibida
- RSSI
- Throughput (caudal efectivo en Mbps)

6.1.2. Descripción de las pruebas

Las medidas consisten en la creación de un enlace punto a punto entre la estación base y un subscritor.

Los equipos se alimentan mediante el cable Ethernet. Para el caso del subscritor se requiere de un switch para poder conectar el ordenador portátil y la cámara. Éste switch debe ser PoE para poder alimentar la cámara IP.

En cuanto a las antenas, el subscritor la lleva integrada y la estación base lleva una antena omnidireccional conectada mediante un latiguillo de RF con conectores N. Dichas conexiones se muestran en la figura 32.

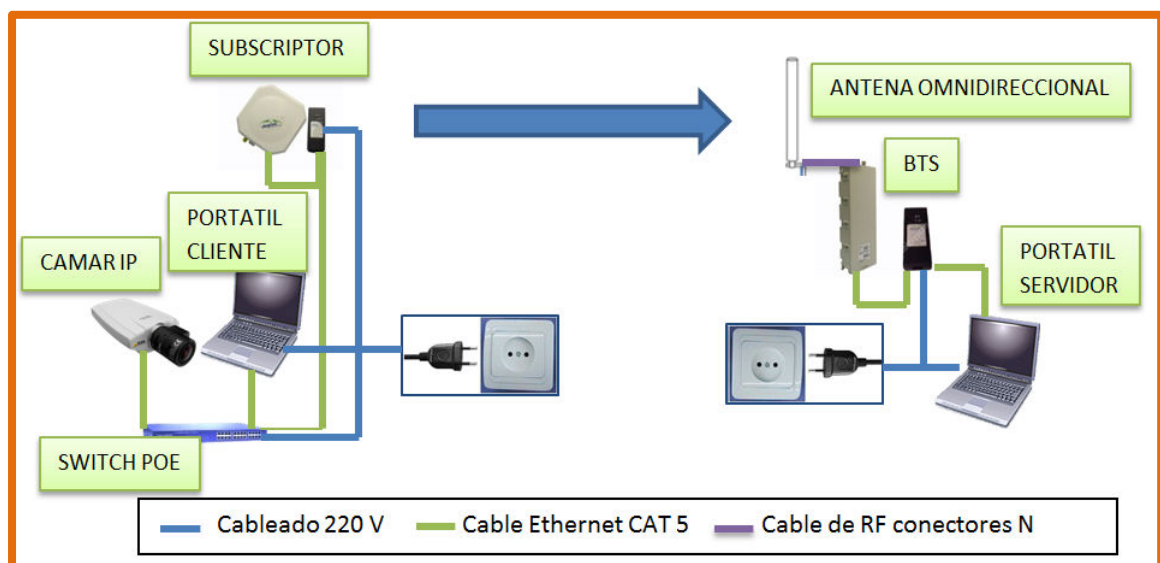


Fig. 32. Esquema de conexión de las pruebas descritas

Calcular el nivel de señal y su calidad en términos de SNR es la medida fundamental para comprobar que se ha realizado el enlace con un mínimo de señal.

Por otro lado se comprueba el Throughput para asegurar que se obtiene un valor cercano al de referencia y al que el fabricante asegura. Para medir este parámetro, se utiliza el software "Jperf" mediante una medida extremo a extremo entre portátiles.

6.1.3. Equipamiento utilizado

El material utilizado es:

- [BTS] Estación base BreezeACCES VL Ref: AUS-D-SA-5.4-360-VL
- [ANTENA OMNIDIRECCIONAL] Antena Omnidireccional polarización vertical 9,5dBi Ref:AN1435-01
- [SUBSCRIPTOR] Subscriptor BreezeACCES VL de 6mbps con antena integrada de 21dBi 10.5° horizontal 10.5° vertical. Ref: SU-A-5.4-6-BD-VL
- [PORTATIL CLIENTE] Ordenador portátil HP con software jperf en modo cliente.
- [PORTATIL SERVIDOR] Ordenador portátil ACER con software jperf en modo servidor.
- [CÁMARA IP] Cámara IP AXIS P1311 con lente de 4mm 1/3 Ref: P1311
- [SWITCH POE] Switch POE NETGEAR 8 PUERTOS Ref: FS108P

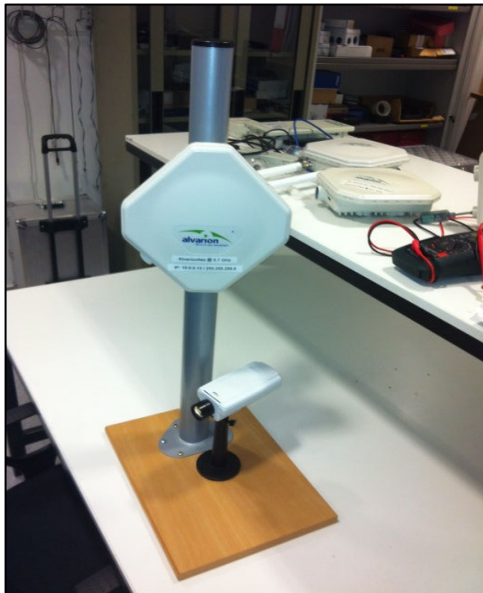


Fig. 33. Subscriptor de 6Mbps utilizado en las medidas junto a la cámara IP AXIS



Fig. 34. Estación base utilizada en las medidas, colocada en el mástil del campus de la ETTAC



Fig. 35. Leds de nivel de señal del subscriptor de 6Mbps

6.1.4. Configuración del equipamiento y ejecución

La configuración de los equipos para realizar las medidas es la siguiente:

- Equipos Alvarion

En primer lugar deben tener configurado el mismo rango en la dirección IP, el mismo SSID (nombre de la red inalámbrica) y la clave de encriptación si la tuviera habilitada. En nuestro caso, para realizar las pruebas con mas comodidad, se ha deshabilitado la opción.

En segundo lugar, la BTS debe conocer la ganancia de la antena externa que se ha colocado. En nuestro caso 9 dBi. Esto hará que varíe la potencia máxima que puede transmitir según la normativa.

El suscriptor lleva una antena integrada de 20 dBi así que no hay que añadir datos de ganancia.

En tercer lugar, mantenemos la selección de frecuencia (banda de 5GHz) y la selección de modulación para que los equipos lo modifiquen automáticamente adaptándose a las condiciones del canal.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que en el suscriptor cada configuración de leds encendidos corresponde a unos niveles de SNR y RSSI. Dicha correspondencia se muestra en la tabla de la figura 36.

Bar LEDs	SNR
LED 1 (green) is On	Wireless link is established.
LED 2 (green) is On	$5\text{dB} \leq \text{SNR} < 9\text{dB}$
LEDs 2-3 (green) are On	$10\text{dB} \leq \text{SNR} < 14\text{dB}$
LEDs 2-4 (green) are On	$15\text{dB} \leq \text{SNR} < 19\text{dB}$
LEDs 2-5 (green) are On	$20\text{dB} \leq \text{SNR} < 23\text{dB}$
LEDs 2-6 (green) are On	$\text{SNR} \geq 24\text{dB}$ and $\text{RSSI} < -72\text{dBm}$
LEDs 2-7 (green) are On	$\text{SNR} \geq 24\text{dB}$ and $\text{RSSI} \geq -72\text{dBm}$
LEDs 2-8 (green) are On	$\text{SNR} \geq 24\text{dB}$ and $\text{RSSI} \geq -69\text{dBm}$
LEDs 2-9 (green) are On	$\text{SNR} \geq 24\text{dB}$ and $\text{RSSI} \geq -60\text{dBm}$

Fig. 36. Tabla que relaciona el nivel de señal con el número de leds encendidos

- Portátiles

El portátil que quede conectado a la BTS, debe quedar con el software Jperf configurado como servidor. Y el portátil conectado al extremo del suscriptor se configurará como cliente. Esto es así para poder medir el uplink, que es lo que nos interesa.

Para realizar una medida, el portátil conectado al suscriptor inyecta tráfico hacia la BTS durante 60 segundos y obtenemos medidas en un intervalo de 2 segundos formando una gráfica y obteniendo un nivel de Throughput de promedio. Este efecto se muestra en las figuras 38 y 39.

6.1.5. Medidas de referencia

En primer lugar se realizan unas medidas de referencia en el laboratorio a distancia 0, en condiciones ideales de cara a las medidas de campo.

Se muestran en la figura 37 los valores obtenidos de SNR, RSSI y Potencia de ruido en el laboratorio.

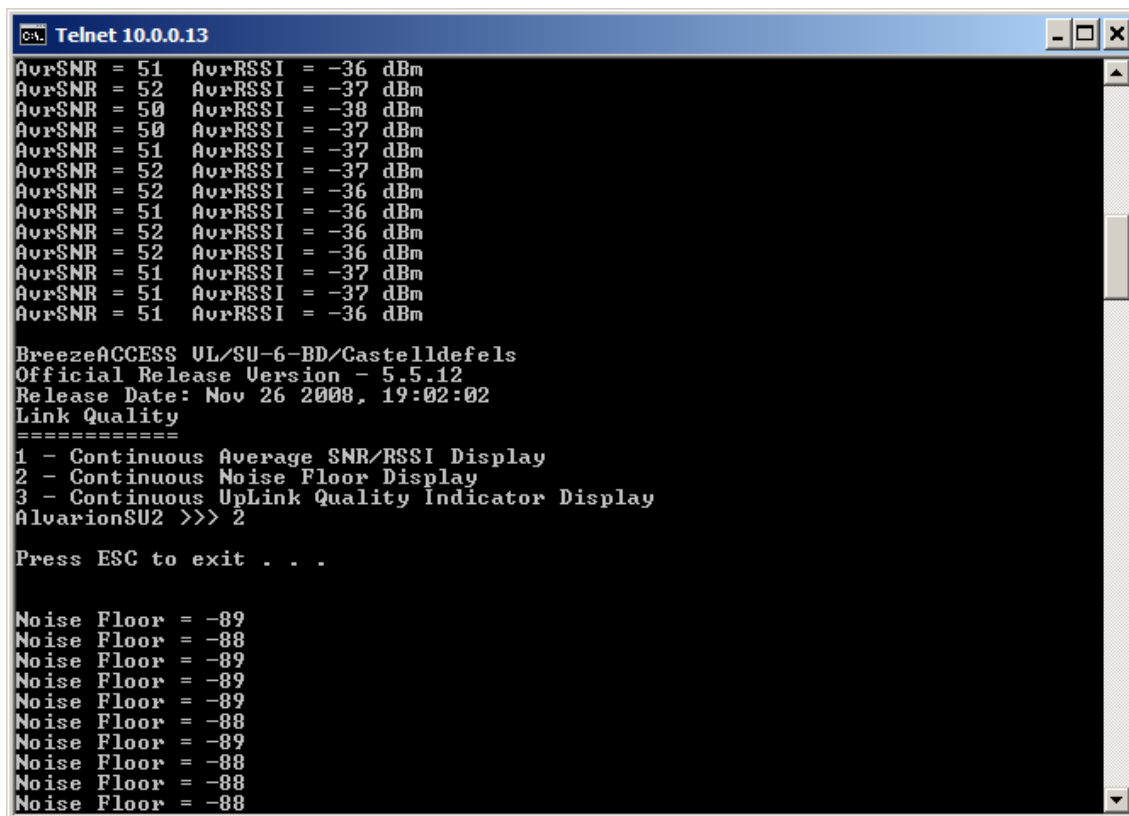


Fig. 37. Niveles de señal de referencia obtenidos en el laboratorio

En las figuras 38 y 39 comprobamos que el Throughput que genera la cámara IP (2.36 Mbps) se aproxima mucho a la simulación realizada con la herramienta de AXIS mostrada en la figura 2 (2.42 Mbps).

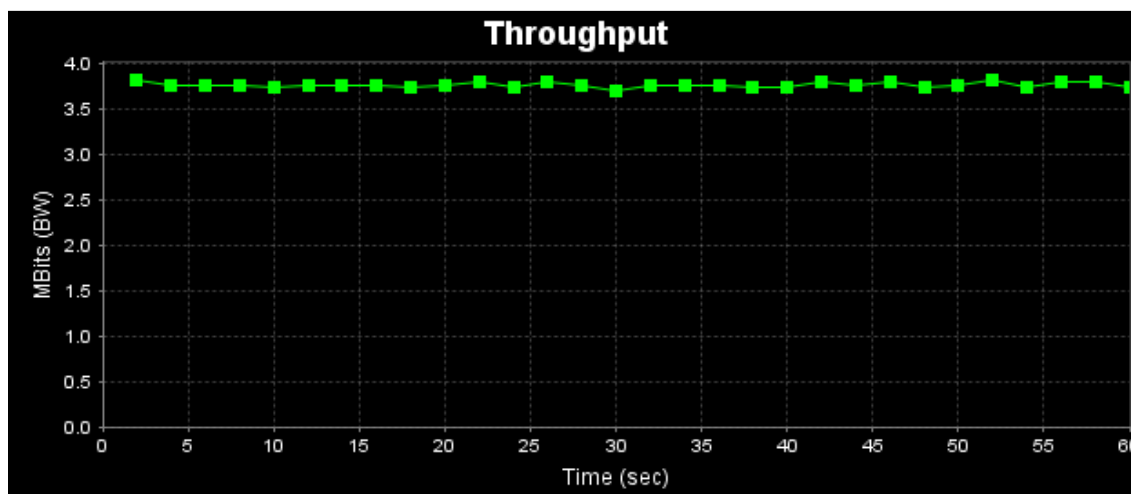


Fig. 38. Throughput Del enlace BTS-Subscriptor de 6Mbps [3.77Mbps/sec]

Medidas Uplink sin video

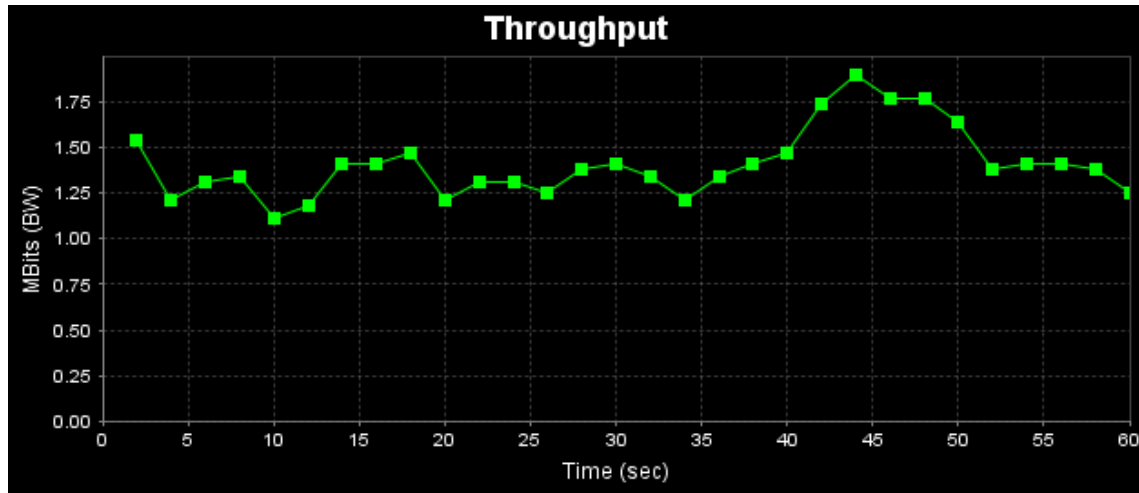


Fig. 39. Throughput del enlace BTS-Subscriber de 6Mbps [1.41Mbps/sec]

Medidas Uplink con video

En la herramienta web de AXIS no se ha utilizado la cámara de la que se dispone en el laboratorio por inexistencia en la base de datos de la herramienta aunque se ha utilizado una cámara de características similares.

$$\text{Throughput}_{\text{cámaraIP}} (\text{Mbps}) = 3.77 - 1.41 = 2.36 \text{ Mbps}$$

<i>Throughput_{cámaraIP} teórico</i>	2.42 Mbps
<i>Throughput_{cámaraIP} medido</i>	2.36 Mbps

6.1.6. Representación de resultados

Para la comparación con los resultados experimentales hay que tener en cuenta las potencias ya que es principalmente lo que se va a medir.

Para ello debemos relacionar las pérdidas de propagación con dichas potencias mediante las fórmulas mostradas en la figura 40.

$$SNR = \frac{Pot_{RX}}{Pot_N}$$

$$Pot_{RX} = \frac{Pot_{TX} G_{TX} G_{RX}}{L_{prop}}$$

$$Pot_{RX}(\text{dBm}) = Pot_{TX}(\text{dBm}) + G_{TX}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dB}) - L_{prop}(\text{dB})$$

Fig. 40. Fórmulas que relacionan la SNR medida con las pérdidas de propagación

6.2. Medidas en el campus

6.2.1. Enlace multipunto BreezeACCESS VL con antena omnidireccional

6.2.1.1. Descripción de las pruebas

Con el objetivo de obtener valores reales de medidas que puedan prever el comportamiento de los equipos en el campo de golf y obtener una noción de lo que se aproximan las simulaciones a la realidad, se realizan medidas de campo en el entorno disponible para realizar dichas pruebas.

Las medidas realizadas en el campus de la universidad EETAC no pueden recrear el entorno y difícilmente las alturas de las antenas. De modo que se trata de seleccionar puntos de medida que puedan aproximarse a las distancias de los enlaces del campo de golf.

Se utiliza el entorno disponible determinando puntos concretos de medida que puedan ser de utilidad para las futuras pruebas en el entorno real.

En la figura 41 y 42 se muestra el mástil utilizado en dichas pruebas con el subscritor de 6 Mbps y el otro extremo del enlace con la estación base en el campus de la EETAC.



Fig. 41. Mástil de aluminio con subscritor con el que se han realizado todas las medidas. Fig. 42. Mástil del terrado de antenas de la EETAC con antena direcciva y antena omnidireccional

Estos puntos son:

- Una calle que rodea el campus. Hay visión directa y hay poca distancia.
- Un puente que pasa por encima de la carretera C-31 en el que podemos conseguir un poco de altura.
- El terrado de un edificio al cual se tiene acceso en cual se consigue bastante altura aunque se encuentra en condiciones Near-LOS.

Los puntos que se han encontrado óptimos para realizar las medidas son los mostrados en la figura 43.



Fig. 43. Mapa de las pruebas planificadas en el campus de la EETAC

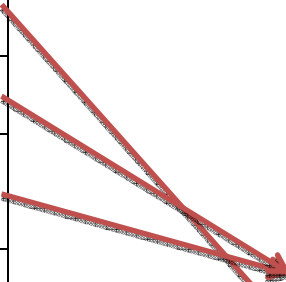


Enlace campo de golf	Distancia (Km)		Enlace campus	Distancia (Km)
1-C	0.59		1-C	0.41
2-C	0.34		2-C	0.78
3-C	0.44		3-C	1.15
4-C	0.79			
5-C	1.25			
6-C	1.27			
7-C	1.11			
8-C	0.75			

Fig. 44. Tabla de aproximación de distancias entre los enlaces del campo de golf y el campus de la EETAC

Como se muestra en la tabla de la figura 44, se han encontrado tres medidas en las cuales se puede representar aproximadamente las distancias del entorno real.

6.2.1.2. Resultados

Como se ha comentado en las especificaciones de las medidas de campo, se realizan medidas de señal y Throughput esperando obtener valores que permitan hacer viable el enlace.

Se han detectado aspectos como la vegetación, percepción real de alturas, edificios nuevos que no constan en Google Earth, etc...

Dichos aspectos han hecho que ajustemos las coordenadas de los puntos de medidas reales buscando así el punto óptimo de medida así como la inclinación de la antena directiva integrada en el subscritor.

En la tabla de la figura 45 se muestran los resultados de las medidas realizadas en el campus de la EETAC. Dichos resultados se han obtenido con los siguientes valores de referencia:

- Altura de la BTS son 3 metros de mástil más los 22 metros del edificio, 25 metros.
- Potencia de transmisión BTS= 21dBm
- Ganancia de antena externa BTS=9,5dBi
- Ganancia del Subscritor = 20dBi

Enlace	Nombre del punto	Visión	SNR (dB)	Ruido (dB)	RSSI (dB)	Nº de leds (2-9)	Throughput (Mbps)	Apreciación de video
	Laboratorio d=0	LOS	50	-88	-36	2-9	3.77	Correcta
1-C	Avda. Pi tort	LOS	29	-88	-60	2-6	3.94	Correcta
2-C	Puente c. olímpico	Near-LOS	25	-88	-62	2-6	2.45	Correcta
3-C	Autovía Km 182	NLOS	20	-89	-67	2-5	3.9	Correcta

Fig. 45. Tabla de medidas realizadas en el campus de la EETAC

Se comprueba que con la antena omnidireccional, desde el punto de medidas más lejano recibimos justo la señal mínima para poder transmitir video. Se observa que no hay visión directa como se indica en la tabla anterior.

Comparamos los resultados obtenidos con los cálculos de estudio previo en la tabla de la figura 46.

Enlace	Nombre del enlace	Altura antena (m)	Distancia (Km)	Pérdidas del enlace simulación (dB)	Pérdidas del enlace modelo de propagación SUI Extendido (dB)		Pérdidas del enlace medidas (dB)
1-C	Avda. Pi tort	2	0.41	99.8	118	CAT C	110
2-C	Puente c. olímpico	2+10	0.78	105.4	114	CAT A	114
3-C	Autovía Km 182	15	1.15	108.8	120	CAT A	119

Fig. 46. Tabla comparativa de pérdidas de propagación

Se comprueba que las medidas realizadas de pérdidas de propagación están entre la simulación y la teoría del modelo de propagación SUI Extendido acercándose con más precisión a éste último.

Las simulaciones previas a las medidas pueden consultarse en el anexo [4]. Los resultados de las medidas de campo en el entorno de la EETAC se encuentran en el anexo [5].

Se puede considerar que la simulación de la herramienta PtP de ALAVRION utiliza un modelo de propagación menos preciso y más optimista que el modelo SUI Extendido, cuyos valores se acercan más a los medidos experimentalmente como se puede apreciar en la figura 47.

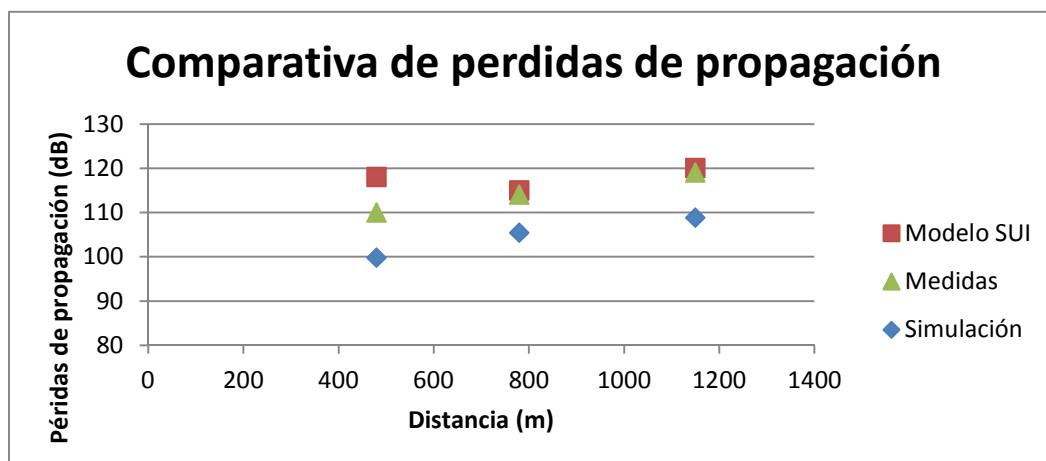


Fig. 47. Gráfica comparativa entre medidas, modelo de propagación y medidas reales.

Observaciones:

- La diferencia en el primer cálculo del modelo SUI está fuertemente afectada por la poca altura del subscriptor (2m) y del terreno lo cual hace que la atenuación sea algo mas elevada.
- En igualdad de condiciones, los tres puntos del modelo SUI representarían una pendiente tal y como se muestra en la gráfica del modelo de propagación mostrada en la figura 30.

6.3. Medidas en el campo de golf

6.3.1. Descripción de las pruebas

Nos desplazamos al campo de golf con todo el equipamiento y se realizaron las medidas en el entorno real.

Se observa que hay muchos factores a tener en cuenta que no se han podido prever con las simulaciones. Y por ello, se han tenido que desplazar algunos puntos.

En la figura 48 se muestra el terrado de antenas del Hotel y de fondo la perspectiva hacia los puntos más lejanos.

En la figura 49 se puede apreciar una medida con el subscritor en una de las calles de la urbanización.



Fig. 48. Terrado de antenas del Hotel del campo de golf.



Fig. 49. Subscritor en uno de los puntos de medidas orientado hacia el Hotel

6.3.2. Resultados

Los resultados obtenidos son ajustados y modificados como se ha comentado anteriormente por factores con los que no se podía contar.

Dichos ajustes han hecho que se realicen medidas en puntos cercanos a los estudiados y en algunos casos en puntos nuevos que se han planteado sobre la marcha.

Para entender los resultados es preciso mencionar que las simulaciones realizadas con la herramienta PtP de ALVARION en el estudio previo no sirven como comparación ya que de han realizado con alturas de subscritor mayores a las correspondientes a las medidas. El mástil del que se disponía era de 2m.

No se han podido realizar de nuevo las simulaciones por pérdida de permisos en la aplicación web de simulación de ALVARION por causas ajenas a mi voluntad.

Dicho esto, los valores de pérdidas de propagación obtenidos en los puntos de medida se muestran en la tabla de la figura 50 junto a los valores de atenuación calculados mediante el modelo de propagación SUI Extendido.

En la figura 51 se encuentra el resumen gráfico de los resultados de la tabla.

Nº de enlace	SNR (dB)	Ruido (dB)	Altura antena medidas (m)	Distancia (Km)	Pérdidas del enlace modelo de propagación SUI Extendido (dB)		Pérdidas del enlace medidas (dB)
1-C	-	-	2	0.59	119	CAT A	-
2-C	15	-87	2	0.34	115	CAT C	122
3-C	15	-88	2	0.44	129	CAT A	123
4-C	15	-88	2	0.8	133	CAT B	123
5-C	-	-	2	1.25	143	CAT B	-
6-C	10	-89	2	1.27	137	CAT A	129
7-C	20	-87	2	1.22	118	CAT A	117
8-C	23	-88	2	0.75	118	CAT A	115
N3-C	36	-89	2	0.43	112	CAT C	103
N5-C	25	-86	2	0.65	120	CAT C	114

Fig. 50. Tabla de resultados de medidas en el campo de golf

Nota: El modelo de propagación utilizado, para alturas de subscritor pequeñas y distancias cercanas al kilómetro, devuelve valores de atenuación demasiado altos y no se pueden comparar con mucha precisión con las medidas reales.



Fig. 51. Plano del campo de golf con los resultados gráficos de las medidas y las modificaciones realizadas.

- Punto medido correctamente
- Punto de medidas sin señal
- Reubicación de un punto de medidas sin señal
- Nuevo punto de medidas

6.3.2.1. Puntos de medida estudiados

En este apartado comentamos los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de medidas de la figura 51 así como sus modificaciones en la posición.

Como se marca en la leyenda de dicha figura, en amarillo, se muestran los puntos de medida. Los puntos de medida que se han marcado en color rojo, corresponden a medidas fallidas.

Se muestra la modificación realizada en dichos puntos con los triángulos de color rojo-amarillo.

Punto 1

En el diseño de este punto se contemplaba poder colocar el mástil encima de la “caseta de vigilancia” ya que hay edificios muy cerca y hay que salvar ese obstáculo. No se ha podido hacer aunque es una posibilidad de implementación a tener en cuenta.

Por otro lado la estación base se pudo ubicar de tal forma que hacia los puntos 1 y 2 quedaba algo cubierto por unas tejas elevadas que recortaban el ángulo de propagación relevantemente en los primeros metros.

En la figura 52 se puede apreciar como, en el punto 1, se trata de obtener altura para recibir señal. Se comprueba que en este punto es necesario una altura considerable para salvar los obstáculos comentados.



Fig. 52. Medida en el punto 1 tratando de conseguir altura

Punto 2

En este punto se obtiene señal aunque perjudicada por lo comentado anteriormente.

Punto 3

No hay visión directa y hay una gran cantidad de árboles. Sin embargo se recibe señal ya que no está demasiado lejos y el terreno comienza a tener un poco más de altura.



Fig. 53. Medidas tipo “Drive test” buscando puntos óptimos de medidas

La figura 53 corresponde a la carretera entre el punto 3 y el punto N4. En dicha imagen se muestra una parte del mástil con el subscritor asomado por la ventana del vehículo. Se está realizando una búsqueda de visual para, posteriormente, orientar la antena directiva del equipo hacia el hotel y comprobar si se recibe señal.

Punto 4

Con el mástil que se disponía no había suficiente altura para conseguir conectar con la BTS por culpa de los edificios cercanos a dicho punto.

Se encontró un punto cercano en el que hay un descampado entre viviendas y se obtenía una mejor visión. Al ser una intersección siempre es interesante de cara a la ubicación de cámaras de seguridad ya que se cubren diferentes calles.

Punto 5

Es necesario bastante más altura. En las simulaciones ya se vio que el haz debía pasar entre unos edificios y que se requería una mayor altura para un nivel de señal razonable.

Punto 6

Punto en condiciones Near-LOS bastante lejano. Se obtiene señal aunque habría que potenciarla.

Punto 7

Las condiciones de terreno obligan a reubicar este punto. Al avanzar la calle se obtiene más altura en el terreno. Entre dos viviendas se encuentra un solar en el que obtenemos buena visión y conectividad.

Punto 8

Buena visión y condiciones de terreno. Buena conectividad.

6.3.2.2. Nuevos puntos de medida

Se buscan nuevos puntos de medidas, se realizan prueba como referencia y como un posible salto (MESH) hacia puntos más perjudicados.

Punto N1

Se encuentra un punto óptimo de transmisión aunque ya está muy cerca del Hotel. De todas formas es una buena zona a proteger y se puede potenciar la buena conectividad para plantear un salto tipo MESH hacia el punto 1.

Punto N2

En una plaza se realizan pruebas ya que hay visión directa y obtenemos un nivel de señal óptimo.

Punto N3

Las condiciones en este punto son muy buenas y obtenemos la máxima señal en todas las medidas realizadas.

Punto N4

En una rotonda se encuentra otro punto donde, a pesar de haber bastantes árboles, se obtienen nivel de señal aceptable.

Punto N5

Avanzando la calle y obteniendo mayor altura encontramos otro punto con un nivel de señal bueno. Dicho punto es ideal para un posible salto hacia los puntos más lejanos.

6.3.2.3. Aspectos generales

A lo largo de las calles del campo de golf se han encontrado cajas “HIMEL” de donde se puede extraer alimentación. No se ha podido precisar mejor este y otros aspectos por falta de tiempo e imposibilidad de viajar hacia el punto de medidas más ocasiones.

Aproximadamente, a partir de 20dB de SNR permite tener conectividad en el enlace y actuar como “bridge”. De tal forma que permite la transmisión de video y así se han hecho las pruebas.

En la figura 54 se muestra como, al alcanzar dicho nivel de señal, transmitimos video desde uno de los puntos.



Fig. 54. Prueba de transmisión de video en uno de los puntos de medida

Las alturas de las antenas (BTS y subscriptor) y la cantidad de árboles (no contemplado en las simulaciones) han sido aspectos muy relevantes para obtener niveles de señal óptimos.

Con los recursos de los que se disponía se han obtenido estos resultados aunque si se obtiene mayor altura en las antenas se puede salvar los obstáculos que evitar tener mayor nivel de señal.

En resumen, la señal recibida en algunos puntos es bastante baja y debe plantearse, una vez conseguido el punto óptimo donde se recibe señal que es lo que se ha conseguido en estas pruebas, como potenciar esa medida de cara a la implementación real.

CAPITULO 7. PRESUPUESTO

7.1. Presupuesto orientativo de materiales

A continuación se muestra un presupuesto de materiales en el que no se contemplan acometidas de energía, cableado ni obra civil.

Para poder obtener una noción de lo equipos de comunicaciones y CCTV disponibles en el sistema de forma global y poder analizar su coste se muestra la figura 55.

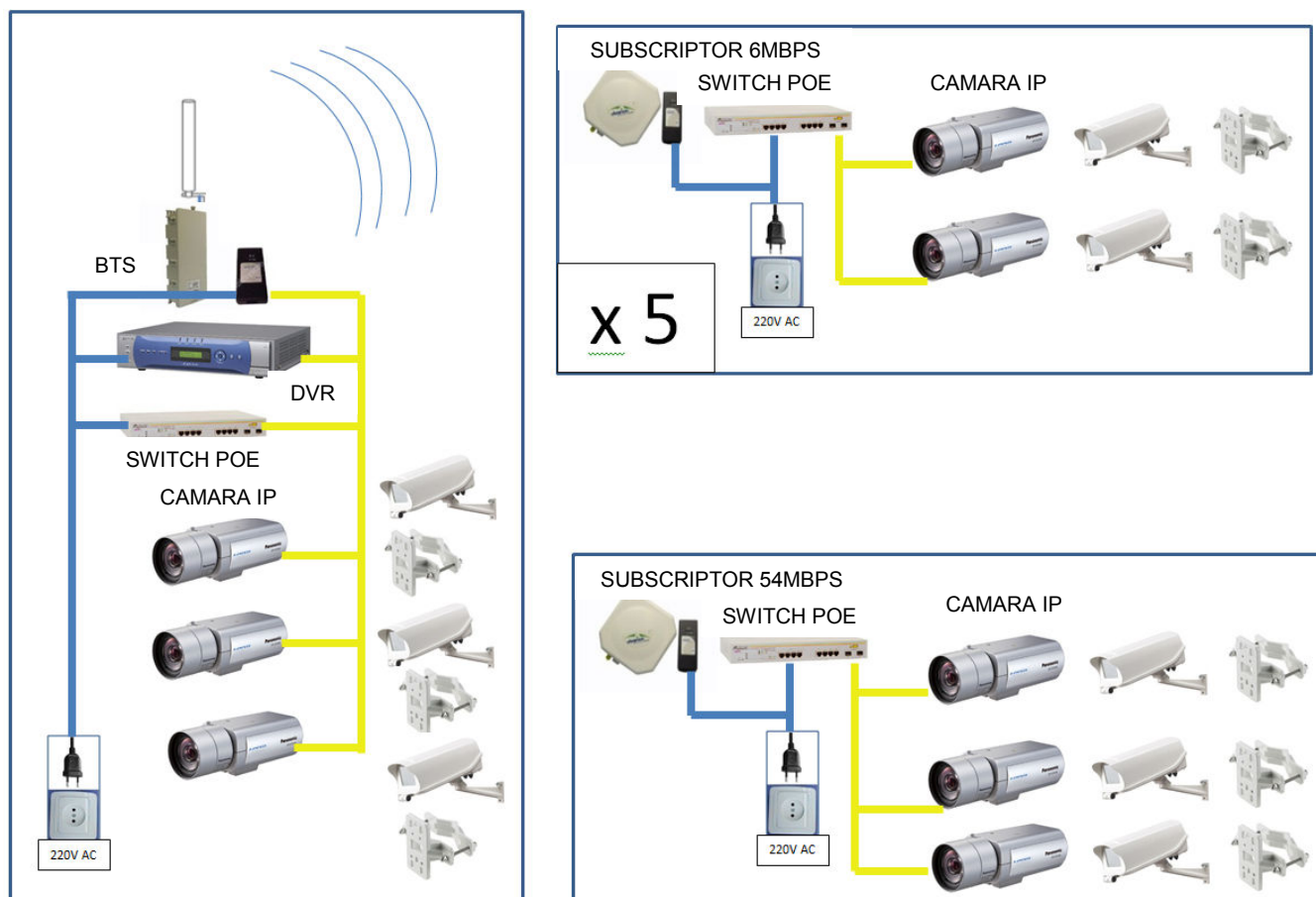


Fig. 55. Esquema general de conexiones de CCTV y comunicaciones

— Cableado de comunicaciones (Ethernet CAT5) — Cableado de alimentación 220V

En la figura 55 se muestra el bloque de la centralización que consta principalmente de la BTS y el videograbador digital, que es el encargado de almacenar imágenes.

Estos dos elementos se comunican mediante un Switch PoE que proporciona alimentación y comunicación a las tres cámaras IP que se ha previsto situar en este punto para la protección del Hotel.

Por otro lado, el extremo “Subscriptores” se compone de 2 sub-bloques. El primero de 2 cámaras con subscritor de 6Mbps y el segundo de tres cámaras y subscritor de 54Mbps para poder soportar más Throughput. El primer sub-bloque se replica 5 veces en los diferentes puntos del Club de Golf y el segundo una sola vez.

7.1.1. Comunicaciones






Producto	Valor unitario	Unidades	Valor total
<u>Ref: AUS-D-SA-5.4-360-VL</u> Estación base ALVARION + antena omnidireccional 9dBi 	2.500,00 €	1	2.500,00 €
<u>Ref: SU-A-5.4-6-BD-VL</u> Subscriptor ALVARION 6Mbps con antena integrada 20dBi 	600,00 €	5	3.000,00 €
<u>Ref: SU-A-5.4-54-BD-VL</u> Subscriptor ALVARION 54Mbps con antena integrada de 20dBi 	850,00 €	1	850,00 €
<u>Ref: IKU-1938</u> Mástil 3m TIPO-E 	19,12 €	7	133,84 €
<u>Ref: IKU-1937</u> Mástil 3m TIPO-D 	18,27 €	1	18,27 €
Total			6.710,00 €

Fig. 56. Presupuesto orientativo de materiales de comunicaciones

7.1.2. CCTV

Producto	Valor unitario	Unidades	Valor total
<u>Ref: WJ-ND300A/2TB</u> Videograbador de red digital PANASONIC de 2TB de capacidad 	4.296,70 €	1	4.296,70 €
<u>Ref: WV-SP306E</u> Cámara IP día/noche con filtro ICR Panasonic POE 1.3 Mpixel 	832,70 €	18	14.988,60 €
<u>Ref: KITRA/270I</u> Carcasa Tekno, con montaje a Pared. 	85,80 €	18	1.544,40 €
<u>Ref: PA/1</u> Adaptador a poste (Ø50-Ø150 mm) para carcasas Tekno 	31,10 €	18	559,80 €
<u>Ref: AT-GS950/8POE-50</u> Switch 8 puertos 10/100/1000TX WebSmart. Hasta 4 puertos con función PoE a 15.4 W (clase 3) 	417,40 €	9	3.756,60 €
		Total	25.455,70 €

Fig. 57. Presupuesto orientativo de materiales de CCTV

En presupuesto de comunicaciones mostrado en la figura 56 consta de los equipos de Alvarion con sus respectivos alimentadores y de los mástiles para colocar los equipos.

El valor unitario de mayor coste es el de la estación base, aunque contabilizando todos los subscriptores se incrementa dicho valor unitario.

Como es de esperar, los subscriptores de 6Mbps son de menor precio que los de 54Mbps. Aunque es una diferencia de capacidad muy elevada para la poca diferencia de precio hay que tener en cuenta que un incremento de cámaras en alguno de los puntos no requeriría un cambio del equipo. Tan solo pagando la diferencia de precio entre ambos equipos, Alvarion realiza un incremento de capacidad vía software ya que el hardware es el mismo.

Los mástiles son escalables y disponen de una longitud de 3m. Para obtener 6 metros de mástil hay que acoplar a un mástil tipo E, uno de tipo D tal y como se muestra en la imagen del presupuesto de la figura 56.

En cuanto contabilización económica de elementos de CCTV mostrado en la figura 57, se puede apreciar el mismo efecto que en el anterior presupuesto. El elemento de centralización es el más costoso en valor unitario, aunque el total de cámaras IP hacen que el importe mas elevado en los valores totales sea el de éstas últimas.

El video grabador digital es el que más procesado requiere y es el corazón del sistema ya que es el que almacena imágenes y el que replica las mismas en tiempo real hacia usuarios locales o remotos mediante la red IP.

Las carcasas de exterior son obligatorias ya que las cámaras están todas a la intemperie. Proporcionan robustez, seguridad y protección a la electrónica de cada una de las cámaras.

El soporte a poste es necesario para poder acoplar las carcasas a los soportes contabilizados en el presupuesto de comunicaciones de la figura 56 o a posibles farolas en las que se permita mecanizar elementos en las calles del Club de Golf.

Por otro lado, el Switch PoE es muy importante para poder concentrar la conectividad de las cámaras con el subscritor y para alimentar las cámaras mediante el cable Ethernet.

En ninguna de las figuras se muestra las cajas Himel necesarias para resguardar el switch y los alimentadores de los subscriptores en cada uno de los puntos. Se debería tener en cuenta este detalle y contemplar la posibilidad de utilizar algunas de las cajas ubicadas a lo largo del campo de Golf desde donde se pretende extraer alimentación eléctrica como se ha comentado anteriormente.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES

El objetivo del presente proyecto fue diseñar y analizar un sistema de radioenlaces WiMAX para poder ofrecer un servicio de video vigilancia sobre transmisión inalámbrica en un entorno real de un campo de golf.

En primer lugar se han planificado una serie de puntos en el campo de golf desde donde se transmitirá vídeo hacia un punto de centralización de la señal.

Dichos puntos han sido analizados y ajustados para optimizar la calidad de la señal mediante simulaciones con la herramienta de planificación de Alvarion y mediante el modelo de propagación SUI Extendido.

El estudio realizado se ha recreado en el campus de la EETAC tratando de aproximar las distancias de los enlaces para prever los resultados que se obtendrían en las medidas del Club de Golf Peralada.

A continuación se han realizado medidas de campo en el Club de golf y se ha comprobado la veracidad y la aproximación del estudio previo realizado llegando a obtener una orientación correcta en al ubicación de algunos de los puntos.

En otros puntos se han encontrado impedimentos difíciles de predecir como la vegetación.

Por otro lado el mástil con el que se han realizado las medidas por el perímetro del entorno real era de una altura limitada. De modo que algunas medidas hemos obtenido unos niveles de señal ligeramente menores y este tienen que ser considerado para una puesta en marcha del sistema.

En resumen, se ha obtenido una visión clara de cómo y dónde implementar el sistema de radioenlaces determinando así como cuáles son los puntos ideales de colocación de las antenas. Quedan reflejadas algunas consideraciones importantes de diferencia entre simulaciones y medidas en entorno real.

Por ello, comentar la importancia de las visitas previas a dicho entorno ya que se obtiene una percepción más consistente para poder realizar un estudio previo.



Fig. 58. Cartel de salida del pueblo Peralada

CAPITULO 9. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Gracias a las características de WiMAX permite un despliegue de red más rápido, con menos costes y un mínimo impacto medioambiental, evitando las molestias del despliegue de redes a través de zanjas y facilitando el despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones de banda ancha en zonas y núcleos de población remotos.

Pero la sociedad cada vez más se encuentra sensibilizada ante el despliegue masivo de las nuevas tecnologías radio, puesto que relaciona las ondas electromagnéticas que se generan como algo perjudicial para la salud. Junto a ello, otro aspecto en contra que tienen estas tecnologías, es el impacto medioambiental, visual y urbanístico.

El estado y las diferentes delegaciones autonómicas y municipales han desarrollado varias normativas específicas de los sistemas de radiocomunicación en cuanto al medioambiente se refiere. En este sentido, a nivel estatal se ha desarrollado el Real Decreto 1066/2001 que establece las condiciones mínimas de seguridad sobre la salud de los sistemas radioeléctricos. En cuanto a normativa autonómica, en Catalunya se ha publicado un Decreto (148/2001) que establece unos límites de emisión electromagnética y de seguridad.

En este sentido, la tecnología WiMAX permite minimizar los posibles efectos negativos al medioambiente tomando en cuenta algunas de las siguientes recomendaciones:

- El cumplimiento de la normativa vigente, expresada en las ordenanzas municipales, leyes autonómicas, nacionales e internacionales.
- Utilizar, cuando sea posible, infraestructuras y edificios existentes, permitiendo la compartición de las instalaciones con otras operadoras, siempre que no existan imposibilidades técnicas.
- Definir estrategias adecuadas para la reutilización, el reciclaje y la recuperación de los equipos y materiales utilizados, lo cual permite reducir el consumo energético y la generación de residuos.
- Ubicar los equipos de forma que se impida su visión desde la calle y no se dificulte la circulación por la azota y utilizar técnicas de camuflaje, permite reducir el impacto visual y urbanístico.

En cuanto a las emisiones electromagnéticas los sistemas WiMAX tienen ciertas características que reducen el impacto sobre el cuerpo humano y el medioambiente:

- Las radiaciones a esas frecuencias son "no ionizantes", por lo cual no tienen energía suficiente para alterar las células vivas.
- La potencia radiada por nuestras estaciones base es del orden de 50 veces menor que la radiada por las estaciones base del sistema GSM900 MHz.
- A esto hay que añadir que la intensidad de campo disminuye rápidamente al aumentar la distancia a la fuente de radiación.

A parte de lo comentado anteriormente, otros aspectos a tener en cuenta son:

- Emisiones atmosféricas: En este tipo de actividad no se genera producción de humos, gases, olores, polvo ni aguas residuales.
- Residuos peligrosos: En los trabajos que se lleven a cabo en este emplazamiento no se generaran residuos que puedan ser considerados peligrosos.
- Residuos de material (excavación, apilamientos de tierras, rocas, sacados de cimentaciones, etc.): En este emplazamiento no se producirán residuos por excavación ni por el derrumbamiento de paredes existentes. Los residuos de material de instalación (chapas, restos de soldaduras o cortes, cableado, etc.) se recogerán y se llevarán al depósito más cercano.
- Consumo energético: Este emplazamiento necesita un consumo energético reducido. El hecho de utilizar energía solar como suministro eléctrico sería una clara apuesta por un sistema ecológico y sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

Como principal fuente de información se destaca Internet, y se detallan las diferentes páginas *web* de las que se ha obtenido información que consta escrita en el presente TFC. De entre las múltiples fuentes de información, cabe destacar las siguientes:

- Para información referente al campo de golf se ha utilizado la web del propio campo de golf conjuntamente con Google Earth.

[1]www.golfperalada.com/

- Para información sobre WiMAX, se utilizan los Datasheet y manuales proporcionados por Alvarion entre otros:

[2]www.alvarion.com

[3]<http://www.adtel.es/>

- Para toda la información sobre cctv así como cámaras IP, videograbadores digitales, etc... se ha utilizado las siguientes páginas:

[4]www.axis.com

[5] www.cctvcenttersl.es

[6] www.boschsecurity.com

- Para información sobre normativa radioeléctrica, estándares, etc... se han consultados las siguientes:

[7]<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>

[8] <http://standards.ieee.org>

[9] <http://blogcmt.com/>

[10] <http://www.hsc.fr>

- Se han seguido varios TFC de referencia extraídos de las siguientes webs:

[11] <http://upcommons.upc.edu/>

[12] <http://www.zaguan.unizar.es>

- Para teoría de radiocomunicaciones y modelos de propagación se han utilizado principalmente estos recursos:

[13] <http://www.xirio-online.com>

[14] Comunicaciones móviles. 2002 Ediciones UPC.

[15] Teoría de comunicaciones móviles de asignatura optativa "SCCM".

ANEXO 1. ESTANDERES INALÁMBRICOS 802.11 Y 802.16

1.1. Wi-Fi

Las redes WiFi se basan en la tecnología de transmisión de datos sin hilos y su objetivo principal es la conexión de dispositivos próximos entre sí (distancias de 100-300 metros) a altas velocidades equiparables a las de una red cableada.

En la actualidad existen varios estándares Wi-Fi definidos por el Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE):



Fig. 59. Logotipo de los estándares 802.11 más comunes

A continuación se muestra la evolución del estándar 802.11. Centraremos el estudio en la última norma aprobada, la 802.11n.

Revisión	Notas	Banda	BW canal	Velocidad	Cobertura int/ext	Modulación	Nº de flujos	Año
802.11-1997	<i>Legacy</i>	IR / 2.4GHz		1 o 2 Mb/s				1997
802.11a	OFDM	5 GHz	20MHz	54 Mb/s	85m/185m	OFDM	1	1999
802.11b	Añade DSS	2.4 GHz	20MHz	11 Mb/s	50m/140m	DSS CCK	1	1999
802.11g	Revisión de b	2.4 GHz	20MHz	54 Mb/s	65m/150m	DSSS CCK OFDM	1	2003
802.11h	Revisión de a para Europa	5 GHz		54 Mb/s	85m/185m	OFDM	1	2003
802.11i	Mejoras en la seguridad (WPA, WPA2)							2004
802.11e	Mejoras QoS (EDCA y HCCA)							2005
802.11n	Añade MIMO y canales de 40MHz	2.4 y 5 GHz	40MHz	600 Mb/s	120m/300m	DSSS CCK OFDM	4	2007
802.11w	Seguridad en tramas de gestión							2008

Fig. 60. Tabla de evolución del estándar 802.11

1.1.1. **Estándar 802.11n y 802.ac**



Fig. 61. Gráfica de evolución del estándar 802.11

La norma 802.11n fue publicada en el año 2007 y aprobada por la IEEE en Septiembre de 2009. Trabaja en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Su velocidad máxima se ha dispuesto en 600 Mbps gracias a:

Anchura de canal: pueden ser de 20 ó 40 MHz

Modulación y códigos FEC: se pueden utilizar varios tipos de modulación desde BPSK hasta 64-QAM. También códigos FEC desde 1/2 hasta 5/6 (en la norma anterior era hasta 3/4).

Intervalo de Guarda (separación entre símbolos): En 802.11a/g era de 800ns, en 802.11n puede ser de 800 ó 400ns, para incrementar la velocidad. Esto puede suponer una mejora del 11%. Con menor separación hay mayor velocidad y eficiencia pero menor resistencia a la interferencia multicamino. En un entorno con mucha interferencia multicamino no es viable usar 400ns.

Se utilizan antenas MIMO.

Esta tecnología es compatible con 802.11a, 802.11b y 802.11g, transmite en múltiples canales utilizando hasta 3 antenas diferentes con el objeto de dar mayor velocidad que las existentes hasta el momento, pasando de 54 Mb/s a los 600 Mb/s teóricos.

Se prevé que este año 2012 se publique la norma 802.11ac la cual introducirá las siguientes mejoras:

Mayores velocidades (en torno a 1 Gbps)

Mayor capacidad

Mayor cobertura

Menor consumo de batería

Una vez que el 802.11ac se encuentre aprobado a finales de este año, estaría listo para la certificación de la Wi-Fi Alliance a principios de 2013. Luego se plantearía hacia el mundo de la tecnología y las empresas de electrónica.

Mientras tanto, los consumidores probablemente tendrán que esperar hasta alrededor del año 2015 antes de que el Wi-Fi 802.11ac realmente se enganche en el mercado. De modo que no tendremos en cuenta esta norma para el TFC planteado.

1.1.2. **Bandas frecuenciales y canales disponibles**

Uno de los problemas a los cuales se enfrenta la tecnología Wi-Fi es la progresiva saturación del espectro radioeléctrico, debido a la masificación de

usuarios, esto afecta especialmente en las conexiones de larga distancia (mayor de 100 metros).

Según la zona geográfica, en la banda de los 2.4GHz se utilizan de 7 a 14 canales (13 en Europa). El ancho de banda de la señal (22MHz) es superior a la separación entre canales consecutivos (5MHz), por eso se hace necesaria una separación de al menos 5 canales con el fin de evitar interferencias entre celdas adyacentes. Tradicionalmente se utilizan los canales 1, 6 y 11 o los canales 1, 5, 9 y 13.

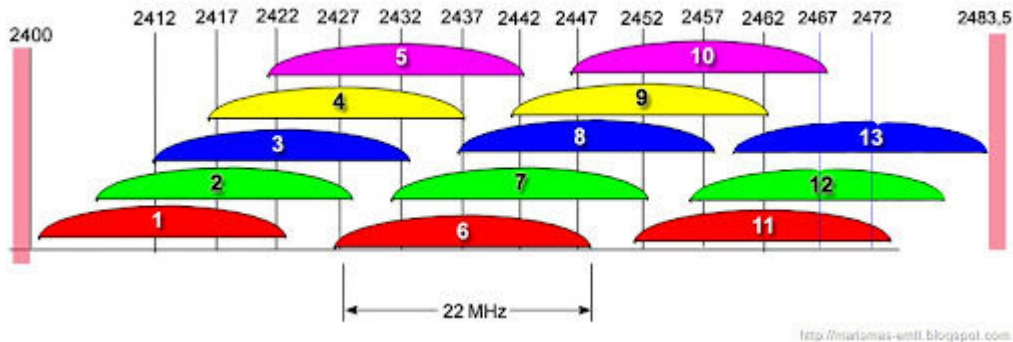


Fig. 62. Canales de la banda de 2,4GHz utilizada en los estándares 802.11b/g/n

802.11n permite el uso de canales con un ancho de 40 MHz. El uso de este ancho de banda implica la ocupación de dos canales no solapados de 22MHz, como podrían ser el 1 y el 6. Por la imagen anterior, vemos que solo quedaría libre sin solapamiento los canales 11 a 13, lo cual podría utilizarse sin compartición de frecuencias, algún canal 802.11b o 802.11g pero no otro canal 802.11n.

La norma 802.11n ofrece la posibilidad de funcionar en ambas bandas, tanto en 2,4 GHz como en 5 GHz.

La banda de 5 GHz ofrece 24 canales no solapados entre sí lo cual es una gran ventaja sobre la banda de 2,4 GHz en la que solo existen tres canales sin solapamiento. Esto permite que sea más fácil evitar las interferencias y se permite de forma estandarizada la emisión de señal a potencias mayores como se comenta a continuación.

En España, las condiciones de uso compartido de la banda de 5 GHz se concretan en la nota UN-128 del CNAF. La PIRE máxima está restringida a 200 mW entre los 5,15 y 5,360 GHz y en 1 W en la banda comprendida entre los 5,470 y 5,725 GHz, siempre que se utilicen técnicas de control de potencia, soportadas por los puntos de acceso que se comercializan habitualmente.

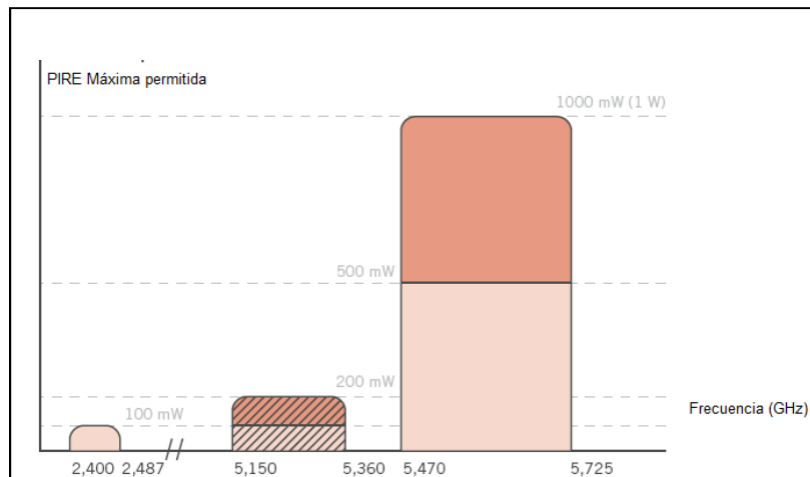


Fig. 63. Gráfica de potencias de transmisión permitidas en función de la banda de trabajo

Sin embargo, la banda de 5 GHz tiene algunos aspectos a tener en cuenta como:

- Hay muchos equipos ya instalados en la banda de 2,4 GHz.
- La fabricación de equipos a 5 GHz es más costosa.
- El proceso de señal a frecuencia mayor provoca un incremento del consumo de batería en los terminales.
- La atenuación es cuanto mayor cuanto mayor es la frecuencia.

1.1.3. MIMO

Las siglas MIMO están referidas a múltiples antenas de transmisión y recepción y permite aumentar la velocidad y la cobertura de una transmisión vía radio. Se trata de una mejora muy innovadora e importante con respecto a las anteriores normas. De hecho, muchos identifican al 802.11n como “el estándar MIMO”.

El número de flujos de datos simultáneos que se pueden emitir está limitado por el número de antenas disponibles en ambos lados, así pues si el equipo transmisor dispone de tres antenas emisoras pero el destino solo de dos receptoras, la comunicación solo podrá efectuarse con dos flujos de datos independientes.

El tipo de MIMO que incorpora un equipo se designa con la siguiente nomenclatura “a x b : c”. Donde “a” indica el número máximo de antenas o canales de radiofrecuencia de emisión que la radio puede utilizar, “b” expresa el número máximo de antenas o canales de radiofrecuencia de recepción del que puede hacer uso el sistema y “c” indica el número máximo de flujos de datos que pueden ser usados.

De forma que un sistema 3x2:2 podrá utilizar hasta tres antenas de transmisión, dos de recepción y dos flujos de datos independientes. Es importante interpretar éste dato puesto que las antenas no suelen ser visibles, y desde luego, los flujos de datos no lo son, y es importante para evaluar el

rendimiento del sistema, sobre todo para no invertir en puntos de acceso muy capaces si los clientes no lo serán, o viceversa.

Actualmente las configuraciones más habituales son 2x2:2, 2x3:2, 3x3:2 siendo el máximo previsto por la norma 4x4:4. Lo cual justifica la discrepancia entre la velocidad de los sistemas actuales (300 Mb/s) y la máxima prevista por la norma (600 Mb/s).

Así mismo se ve que los sistemas que empiezan a salir con configuraciones 3x3:3, que deberían ser capaces de alcanzar 450 Mb/s, pero solo serán útiles si los clientes poseen la misma configuración, cosa que no es habitual de momento.





		Antennas (Tx*Rx)	Spatial Streams	Maximum Link Speed	Band Support
	Single Stream	1 x 1	1	72 Mbps	2.4
	Dual Stream	1 x 2	2	150 Mbps	2.4
	Dual Stream	2 x 2	2	150 Mbps	2.4
	Dual Stream	2 x 3	2	150 Mbps	2.4
	Dual Stream	2 x 2	2	300 Mbps	2.4 & 5
	Dual Stream	2 x 3	2	300 Mbps	2.4 & 5
	Multi Stream	3 x 3	3	450 Mbps	2.4 & 5

Fig. 64. Tabla de tipos de estructura MIMO y sus resultados

1.1.4. Modulación

El método de modulación seleccionado es OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) con 32 portadoras.

OFDM es una técnica basada en la multiplexación por división de frecuencia (FDM), pero el hecho de que cada subportadora sea ortogonal al resto permite que el espectro de cada una estén solapadas y no exista interferencia, aumentando la eficiencia del uso del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre subportadoras.

Entonces la reconstrucción de la señal se logra gracias a la forma ortogonal que presentan las sub-bandas en el dominio de la frecuencial.

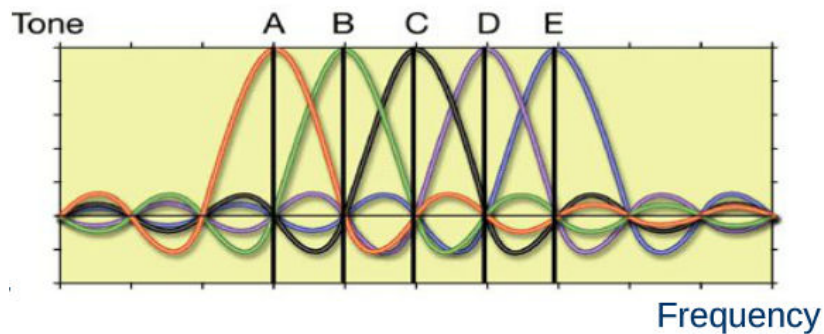


Fig. 65. Estructura básica de una señal OFDM

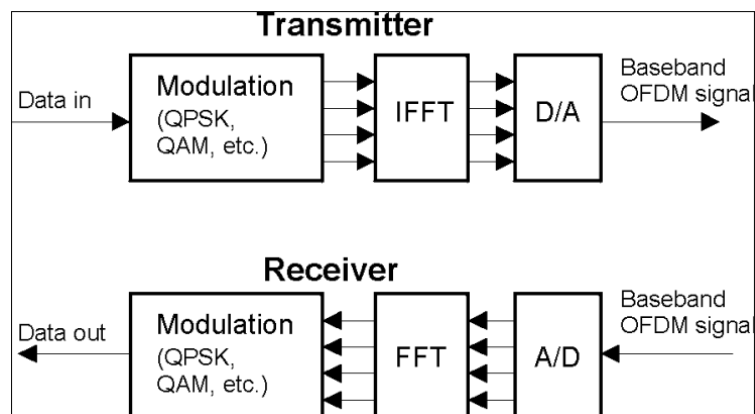


Fig. 66. Esquema resumido de transmisión y recepción en un sistema OFDM

Combinando la modulación, la codificación de canal, el ancho de banda de canal, los flujos de MIMO y el intervalo de guarda se obtiene una multitud de posibilidades diferentes que permiten llegar a obtener los 600Mbps teóricos de la norma.

Índice MCS	Tipo	FEC	Flujos MIMO	Caudal con canales 20 MHz		Caudal con canales 40 MHz	
				800 ns	400 ns	800 ns	400 ns
0	BPSK	1/2	1	6,5	7,2	13,5	15,0
1	QPSK	1/2	1	13,0	14,4	27,0	30,0
2	QPSK	3/4	1	19,5	21,7	40,5	45,0
3	16-QAM	1/2	1	26,0	28,9	54,0	60,0
4	16-QAM	3/4	1	39,0	43,3	81,0	90,0
5	64-QAM	2/3	1	52,0	57,8	108,0	120,0
...
31	64-QAM	5/6	4	260,0	288,9	540,0	600,0

Fig. 67. Tabla de configuraciones de 802.11 y su resultado Mbps

- Problemas limitantes de OFDM

Desde que no se pierda ortogonalidad y permanezca sincronismo perfecto, OFDM podría suministrar tasas de transmisión de información casi infinitas, sin embargo, dados los problemas físicos de su implementación y la distorsión impuesta del canal, se pueden mencionar las siguientes limitaciones:

- El efecto Doppler en el canal: rompe la ortogonalidad de las subportadoras, aumentando así la BER y, consecuentemente, disminuye la eficiencia espectral.
- Ruido de fase: presente en las subportadoras, es causado porque ellas no oscilan perfectamente y causan pérdida de sincronismo en el sistema.
- PAPR (Peak to Average Ratio): cada subportadora es independiente y pueden llegar un momento en el que estén en fase. En dicha situación la amplitud de la señal es muy elevada y eso se debe contemplar en los amplificadores. Éstos deben tener un punto de trabajo más elevado y ello ocasiona un mayor consumo de baterías en los equipos.

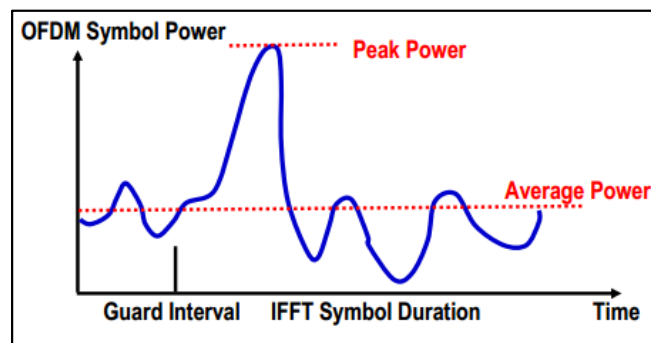


Fig. 68. PAPR en transmisión OFDM

1.1.5. Cobertura

La normativa implica que no puede emitirse una potencia superior a 100mW en la banda de 2,4 GHz lo cual limita el alcance. Esto implica que para obtener alcances mayores, 802.11n debe usar la banda de 5GHz.

Por lo comentado anteriormente, las distancias a cubrir en el estándar 802.11 nunca han sido un objetivo principal por el que desarrollar el mismo. Hay que combinar y modificar la mejor de las normas y aun así las distancias no llegan al kilómetro.

El estándar 802.16ac, en desarrollo actualmente, estudia el incremento de velocidad y las prestaciones como se ha comentado anteriormente.

A pesar de estas mejoras, la norma sigue siendo orientada a WLAN. Se obtiene mejoras en cuanto a cobertura sin ser determinantes para poder ser comparada con la 802.16.

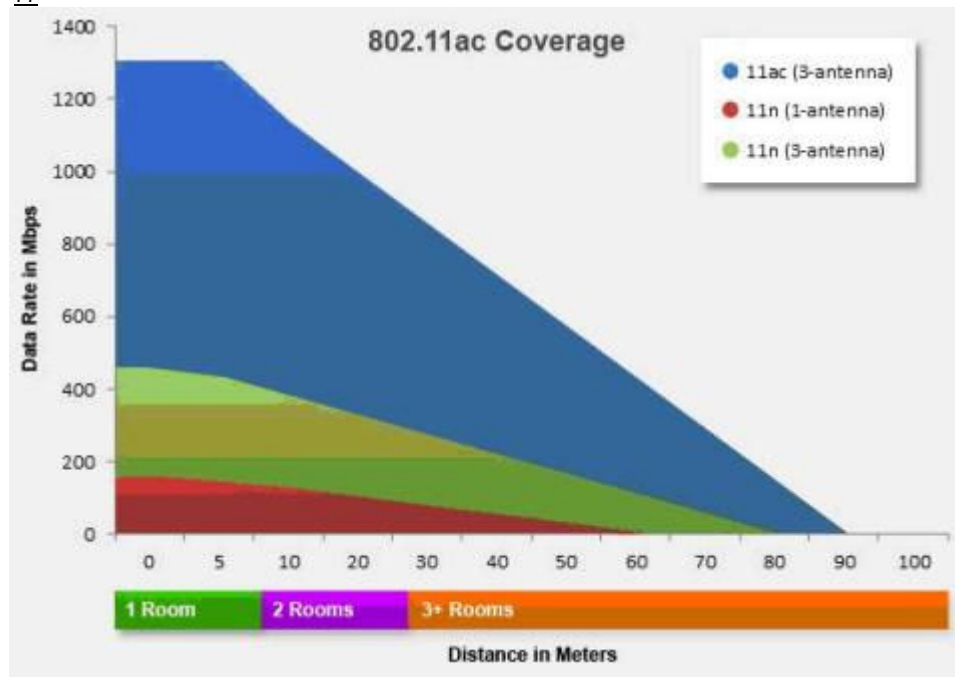


Fig. 69. Gráfica de velocidades en estándares 802.11 en función de la distancia

1.1.6. Seguridad

La señal suele radiarse de forma isotrópica, por lo que cualquier equipo que se encuentre suficientemente cerca de la estación base o de un AP puede conectarse a la red o capturar los paquetes que dicho punto de acceso está cursando.

Para garantizar la seguridad de estas redes se utilizan tres conceptos: SSID, control de acceso y encriptación

1.1.6.1. SSID

Cada red inalámbrica tiene un SSID (Service Set identifier) también llamado a veces ESSID (Extended SSID). El SSID es una cadena de 2 a 32 caracteres cualesquiera, configurable por el usuario y sirve para identificar la red. Éste puede ser mostrado u oculto.

1.1.6.2. Control de acceso

El 802.11 usa CSMA/CA como método de acceso, que proviene de “Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance”. CSMA/CA evita las colisiones introduciendo un retardo aleatorio antes de intentar hacer uso del canal, conocido como IFS o Interframespace. Si durante este intervalo, o bien ya desde el principio, el medio se considera ocupado, la estación debe esperar hasta el final de la transmisión actual.

Una vez finaliza esta espera, la estación ejecuta el llamado algoritmo de Back off: espera adicional y aleatoria dentro de un intervalo llamado ventana de contienda (CW) con el fin de reducir la probabilidad de colisión.

Problemas CSMA/CA en un entorno inalámbrico:

- Nodos ocultos: Una estación cree que el canal está libre, pero en realidad está ocupado por un nodo al que no escucha. Por ejemplo el nodo A está en el rango del nodo B, pero queda fuera del rango del nodo C y no puede detectar si el nodo C está transmitiendo al nodo B. Nodos expuestos: una estación cree que el canal está ocupado, pero en realidad está libre pues el nodo al que oye no le interferiría. Por ejemplo el nodo C puede retrasar sus transmisiones al nodo D mientras el nodo B transmite para A, que en realidad no interferiría.

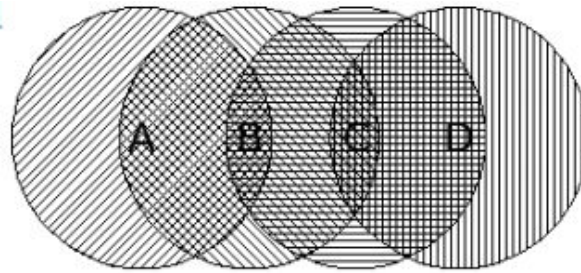


Fig. 70. Solapamiento de nodos de comunicaciones en WiFi.

1.1.6.3. Encriptación

Los protocolos de cifrado son:

- WEP

Del inglés WiredEquivalentPrivacy o Privacidad equivalente al cable, utiliza una clave compartida de 40 bits. La encriptación WEP se considera deficiente por vulnerabilidades descubiertas que posibilitan generar un ataque con el cual en menos de 15 minutos se obtenga la clave WEP.

- WPA

Del inglés WI-FI Protected Access, es un sistema que utiliza la encriptación de clave dinámica, lo que significa que la clave cambia constantemente. Es por eso que es más difícil vulnerar la seguridad de la red inalámbrica que con el protocolo WEP.

WPA sigue usando el algoritmo RC4, pero con IV's de 48 en vez de 24 bits e incluye dos versiones que utilizan diferentes procesos para la autenticación:

- TKIP

El Protocolo de integridad de clave temporal (Temporal Key Integrity Protocol, TKIP) es un tipo de mecanismo utilizado para crear encriptación de clave dinámica y autenticación mutua. Está basado en la generación de claves (PSK-Pre Shared Key) a través de una frase patrón, como ocurría en WEP.

- EAP

El Protocolo de autenticación extensible (Extensible Authentication Protocol, EAP) se utiliza para intercambiar mensajes durante el proceso de autenticación. Este protocolo emplea la tecnología de servidor 802.1x para autenticar a los usuarios a través de un servidor RADIUS. Esto proporciona un nivel de seguridad industrial para la red, aunque se requiere un servidor RADIUS.

¿Es WPA realmente seguro?

- Capturando el handshake de autenticación se puede obtener la clave.
 - Es un ataque relativamente simple de reproducir y hacer.
 - El ataque aplica tanto a WPA como a WPA2.
 - La efectividad del ataque depende de la complejidad de la clave y lo bueno que sea el diccionario de contraseñas.
 - TKIP permite debido a vulnerabilidades encontradas, que sea inyectado tráfico sin saber la PSK
- WPA2 (Cifrado AES)

WPA2 es la segunda generación de WPA. La principal diferencia entre WPA y WPA2 es que WPA2 requiere el estándar de encriptación avanzado (Advanced Encryption Standard, AES) para encriptar los datos, en tanto WPA utiliza TKIP, AES ofrece el nivel de seguridad suficiente para cumplir con los altos estándares de muchas agencias del gobierno federal.

Hay dos tipos de encriptación: WPA2-PSK y WPA2-EAP. La basada en PSK es igual de vulnerable que el método WPA. La que realmente utiliza el cifrado AES es WPA2-EAP y sí es altamente segura.

Tanto en WPA como en WPA2 existe el modo de funcionamiento profesional o el de usuario final.

	WPA	WPA2
Modo Enterprise	Autenticación: 802.1x / EAP	Autenticación: 802.1x / EAP
	Encriptación: TKIP / MIC	Encriptación: AES-CCMP
Modo Personal	Autenticación: PSK	Autenticación: PSK
	Encriptación: TKIP / MIC	Encriptación: AES-CCMP

Fig. 71. Tipos de encriptación WiFi

1.2. Wi-Max

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana (MAN) proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 50 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, siendo ambas figuras de distancia y capacidad valores máximos orientativos que en ningún caso se consiguen de forma simultánea.

El funcionamiento de WiMAX puede ser similar a Wi-Fi pero con mejor rendimiento, a velocidades más altas, mayores distancias y para un mayor número de usuarios.

El objetivo de este estándar es totalmente diferente al del antiguo 802.11 aunque aprovecha algunas técnicas de funcionamiento ya estudiadas en las últimas normas de WiFi.

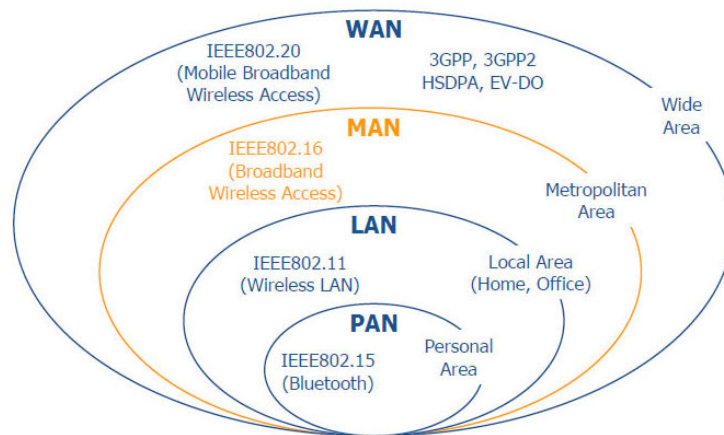


Fig. 72. Estándares de transmisión inalámbrica y sus regiones de trabajo

1.2.1. Estándares

Actualmente se recogen dentro del estándar 802.16, existen dos variantes principales:

Uno de acceso fijo (802.16d) y otro de movilidad (802.16e), que permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar en GSM/UMTS, el móvil.

Estándar	802.16d	802.16e
Frecuencias	2 - 11 GHz	2 - 6 GHz
Condiciones	Near-LOS	No LOS
Anchura de canal	1,75-20 MHz	1,25-20 MHz
Caudal	Hasta 70 Mb/s	Hasta 35 Mb/s
Modulación / FFT	OFDM TDD/ 256	S-OFDMA TDD o FDD/ 128-2048
Movilidad	Fijo y Portable (Nómada)	Fijo y Móvil
Alcance	30 Km	10 Km
MIMO	SISO	MIMO Matrix A y Matrix B
Multicast / Broadcast	No	Si
Codificación de canal	Concatenated Convolutional RScode, Block TC	Concatenated Convolutional RScode, Block TC, CTC, LDPC
Niveles de QoS	UGS, rtPS, nrtPS, and BE	UGS, rtPS, nrtPS, ertPS, and BE

Fig. 73. Tabla comparativa entre estándares 802.16d y 802.16e

1.2.2. Bandas frecuenciales y canales disponibles

Como se muestra en la tabla, WiMAX contempla el uso de frecuencias con licencia y sin licencia. Las frecuencias con licencia (principalmente 3,5 GHz) son para uso exclusivo de operadores. Las frecuencias sin licencia (2,5 y 5 GHz) son para el uso de particulares, así como de operadores en experiencias piloto o áreas rurales.

El ancho de banda de los canales en ninguno de los estándares es superior a los 20MHz. Un canal de mayor ancho de banda permite más velocidad. Aunque en la mayoría de escenarios de exterior, usar un canal de 40MHz implica degradación de rendimiento con respecto a un canal de 20MHz principalmente porque se incrementa la interferencia.

De modo que se debe hallar un compromiso entre velocidad y robustez de la señal, que en la norma 802.16 se ha marcado inferior a los 20MHz.

1.2.3. MIMO

En WiMAX se contempla dos tipos de MIMO, el tipo A y el tipo B.

La diferencia entre ellos es que, el tipo A consiste en el uso de varios flujos de datos de la misma señal para mejorar la cobertura y el B hace uso de varios flujos de datos de diferentes señales para la optimización de la capacidad.

Ésta técnica solo es aplicable al estándar que aporta movilidad, el 802.16e.

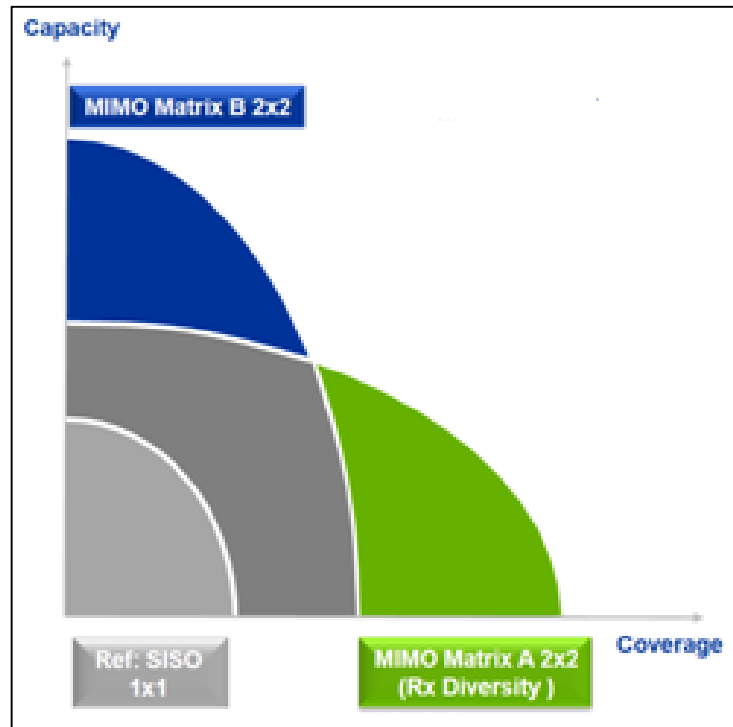


Fig. 74. Gráfica de configuración MIMO, compromiso capacidad/cobertura.

1.2.4. Modulación

Las principales características son:

- OFDM de 256 portadoras (802.16d)

En la capa Física del estándar 802.16-2004 se especifica la interfaz WirelessMAN-OFDM, en la cual se establece que se utilizan 256 subportadoras, de las cuales 192 son utilizadas para datos, 8 son pilotos y 56 son nulas. Las subportadoras pilotos son utilizadas como referencia para minimizar los desplazamientos de frecuencia y fase. Por último las 56 subportadoras nulas son utilizadas para resguardo de la banda y la frecuencia central del canal (DC).

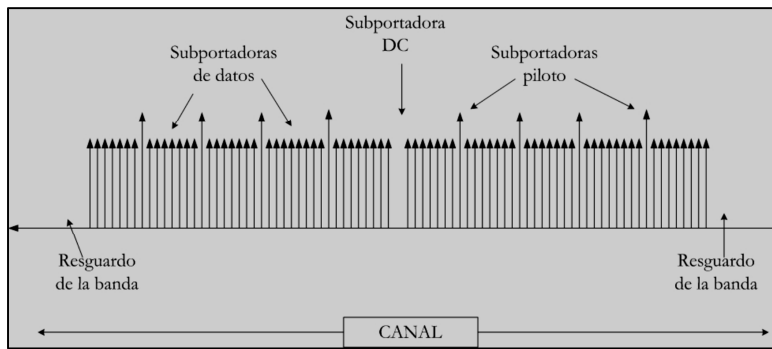


Fig. 75. Subportadoras OFDM

- OFDMA (802.16e)

En OFDM diferentes usuarios comparten el canal, pero no al mismo tiempo. Cuando un usuario transmite ocupa todas las portadoras. Sin embargo, en OFDMA diferentes usuarios comparten el canal al mismo tiempo. Cada usuario ocupa diferentes portadoras.



Fig. 76. Diferencias entre OFDM y OFDMA

Esto hace que se repartan de forma más inteligente los recursos y da la posibilidad de transmitir a terminales (uplink) con poca cobertura que antes no podían hacerlo.

- S-OFDMA de 128 a 2048 portadoras (802.16e)

Parámetros	Valor			
Ancho de Banda del canal en MHz	1.25	5	10	20
Frecuencia de muestreo en MHz	1.4	5.6	11.2	22.4
Tamaño de la FFT	128	512	1024	2048
Número de subcanales	2	8	16	32
Distancia entre subportadoras	10.94 KHz			
Tiempo útil del símbolo	91.4 μ s			
Tiempo del CP	11.4 μ s			
Duración del símbolo OFDMA	102.9 μ s			
Nº de símbolos OFDMA (Cuadro de 5 ms.)	48			

Fig. 77. Tabla comparativa de los diferentes anchos de banda de canal en 802.16

En el estándar 802.16d se utiliza OFDM con duplexado TDD y 256 portadoras, mientras en el 802.16e se utiliza S-OFDMA con hasta 2048 portadoras y con posibilidad de utilizar duplexado TDD o FDD.

Cuantas más portadoras, más coste computacional pero más velocidad de transmisión y por tanto mayores Throughputs posibles a alcanzar.

1.2.5. Cobertura

Como ocurre en comunicaciones móviles (3G), se utiliza modulación adaptativa de forma que si un terminal se encuentra próximo al límite de la zona de cobertura de la estación base se mantienen la calidad de servicio disminuyendo la velocidad de transmisión del enlace.

Esta técnica y otras, como MIMO, proporcionan a WiMAX coberturas del orden de la decena de kilómetros.

1.2.6. Seguridad

¿Por qué es tan importante la seguridad en WiMAX?

- Diseñado para entornos exteriores.
- Es una tecnología de operador pensada en dar servicio a múltiples usuarios simultáneamente.
- Despliegue corporativo, gubernamental o incluso militar, son escenarios habituales.

1.2.6.1. SSID

Al igual que ocurre en WiFi, las diferentes redes se identifican mediante un identificativo o SSID.

1.2.6.2. Control de acceso

En WiMAX el control de acceso al medio es determinista. Los usuarios no tienen que competir por el medio, ya que una vez se encuentren dentro de la red la estación base (BS) ejercerá de árbitro, controlando las transmisiones y asignando slots a los diferentes usuarios.

En WiFi, por el contrario, se emplean mecanismos de control de acceso al medio similar a Ethernet, basado en algoritmos aleatorios de contienda. Dichos procesos aleatorios hacen que se utilice el medio de forma ineficiente.

1.2.6.3. Encriptación

802.16dutiliza dos algoritmos de encriptación:

T-DES (Triple Data Encryption Standard) - Seguridad media

Se trata de un algoritmo que hace triple cifrado DES. DES se considera inseguro para muchas aplicaciones. Esto se debe principalmente a que el tamaño de clave de 56 bits es corto; las claves de DES se han roto en menos de 24 horas.

Cuando se descubrió que una clave de 56 bits no era suficiente para evitar un ataque de fuerza bruta, TDES fue elegido como forma de agrandar el largo de la clave sin necesidad de cambiar de algoritmo de cifrado. Este método de cifrado es inmune al ataque por encuentro a medio camino, doblando la longitud efectiva de la clave (112 bits), pero en cambio es preciso triplicar el número de operaciones de cifrado, haciendo este método de cifrado muchísimo más seguro que el DES. Por tanto, la longitud de la clave usada será de 192 bits, aunque como se ha dicho su eficacia solo sea de 112 bits.

AES (AdvancedEncryption Standard) en modo CTR - Seguridad alta

Con el fin de utilizar un cifrado en bloque, como AES, se necesita un mecanismo reversible para convertir un mensaje de longitud arbitraria en una secuencia de bloques de tamaño fijo, previo a la encriptación.

El método para convertir entre mensajes y bloques es referido como modo de operación de cifrado. El modo de operación debe ser cuidadosamente seleccionado para que no cree brechas de seguridad. El modo usado en WiMAX es llamado modo contador (CTR).

En el modo contador, en vez de encriptar directamente el texto sin formato, un bloque arbitrario llamado contador, es encriptado utilizando el algoritmo AES. El bloque arbitrario es llamado contador ya que es incrementado generalmente en 1 por cada bloque sucesivo procesado.

ANEXO 2. TABLA COMPARATIVA 802.11 vs 802.16

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Objetivos tecnológico de diseño	Diseñado para WLAN, generalmente interiores y pequeñas redes	Diseñado para WAN, para exteriores y redes más extensas. Soporta dispositivos fijos, nómadas y móviles.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Características de aplicación objetivo	Acceso inalámbrico en interiores Cortas distancias Redes de extensión pequeña Alta capacidad	Acceso inalámbrico en exteriores Largas distancias Redes de extensión pequeña, media y grande Alta capacidad Aplicación en terminales en movimiento (vehicular para 5GHz)

El estándar 802.11 contempla mas aplicaciones de las mencionadas aunque las condiciones requeridas se salen de su propósito de diseño e implementación y por tanto, están fuera de alcance. Demasiados receptores, distancias muy largas, etc.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Canales BW	5/10/20/40 MHz	5 / 10 / 20 (2X10) MHz

El canal de 40MHZ tiene una contribución limitada en despliegues exteriores exentos de licencia. Un canal de mayor ancho de banda permita más velocidad. Aunque en la mayoría de escenarios de exterior, usar un canal de 40MHz implica degradación de rendimiento con respecto a un canal de 20MHz principalmente porque se incrementa la interferencia.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Velocidades máximas	802.11a: 54 Mbps (20 MHz) 802.11b: 11 Mbps (20 MHz) 802.11g: 54 Mbps (20 MHz)	802.16e: > 45 Mbps (10+10 MHz) MIMO A
	802.11n: 130 Mbps (20 MHz) 802.11n: 270 Mbps (40MHz)	802.16e: > 80 Mbps (10+10 MHz) MIMO B

Esta comparación es un tanto inexacta ya que en 802.11 son tasas estadísticas de modem y en 802.16e son tasas estadísticas de usuario.

Es importante tener en cuenta las condiciones de funcionamiento para alcanzar los 270Mbps. Estas son con MIMO 2x2, con canales de 40MHz y en la banda de los 5GHz.

El 802.16e incorpora más propiedades para reducir las interferencias, lo cual hace más estable la velocidad. El 802.16e se espera que sea mayor que 802.11n en la mayoría de las implementaciones escenarios debido a su superior reducción de la interferencia

En general, las tasas del 802.11n son referidas a interior, mientras que en el 802.16e son referidas a exterior.

Hay que recordar que los canales de 40MHz no son ideales para exteriores.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Cobertura y modulación	MIMO A: solo en 802.11n OFDM	MIMO A HARQ CTC OFDMA

El link budget de 802.16e tiene 5dB de ganancia en comparación al 802.11n. La cobertura, por tanto, es más amplia.

El OFDMA del 802.16e soporta escenarios NLOS de una forma más eficiente.

CTC es un decodificador especial para el 802.16. Las siglas son vienen de turbo códigos convolucionales. Esta estrategia mejora el rendimiento de decodificación de los receptores.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Detalles técnicos de funcionamiento	MIMO A: solo en 802.11n, y no implementado en la mayoría de chipsets disponibles (al estar diseñado para interiores) OFDM Mejor multipath a cortas distancias (campo cercano) FFT 64 sub-portadoras (3.2μsec), Intervalo de guarda de 0.8μsec	MIMO A OFDMA Mejor multipath a largas distancias (campo lejano) FFT 1024 sub-portadoras (90μsec), Intervalo de guarda de 11μsec

OFDMA proporciona a cada usuario mejor rendimiento de acuerdo a la calidad del enlace (ubicación y características de propagación), superando así los desvanecimientos e interferencias. De esta forma cada usuario mantiene el rendimiento máximo.

802.16e, al estar diseñado para exteriores, soporta 13 veces la distancia de 802.11n mediante la propagación multicamino.

HARQ Combina ARQ + FEC. Permite una detección y corrección de errores adicional. Es una técnica utilizada también en 4G (LTE-Adv) para telefonía móvil.

El protocolo de scheduling de 802.16e es una estrategia más inteligente de acceso e incrementa la resistencia a interferencias comparado con el CSMA utilizado en el 802.11.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
QoS	<p>Limitado a la QoS de los puntos de acceso locales:</p> <p>WMM/WME</p> <p>4 categorías de acceso: voz, video, besteffort y background</p> <p>Limitado por MIR/CIR</p>	<p>QoS avanzado para banda ancha:</p> <p>Orientado a conexión</p> <p>Control centralizado</p> <p>Protocolo de scheduling</p> <p>5 categorías de QoS: UGS, ertPS, rtPS, nrtPS, BE</p> <p>MIR/CIR no limitante</p>

La QoS de 802.16e es un mecanismo para banda ancha que considera la carga y la prioridad de toda la red.

La QoS de 802.11 es un mecanismo orientado al AP y al receptor conectado a este. No se trata de una técnica global.

En 802.16e, se contempla que las propiedades de la QoS mejoren en entorno exteriores exentos de licencia teniendo en cuenta el alto tráfico, la interoperabilidad de aplicaciones y las interferencias.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Número de receptores	Limitado	Alto

En 802.11, el throughput se reduce considerablemente a medida que se incrementa el número de usuarios y se añade el problema de colisiones entre ellos y gestión de las mismas.

Por otro lado, 802.16e, centraliza la gestión y compartición de recursos de la red. A medida que se añaden usuarios, el throughput total no se reduce por la carga del sistema.

	WiFi 802.11 a/b/g/n	WiMAX 802.16e
Seguridad	Algoritmo AES	Algoritmo AES complementado

En 802.16, además de utilizar la conocida clave WPA2, se utilizan llaves de encriptación y autenticación que se renuevan periódicamente, para evitar ataques basados en almacenar y repetir mensajes válidos y para evitar que se puedan romper estas claves.

Este es el problema más grave que ha tenido y tiene la seguridad de 802.11.

Por otro lado también contempla la autenticación de con otros dos criterios:

- Autenticación de cada mensaje donde se intercambia una nueva clave mediante una firma digital, para evitar que estos mensajes puedan ser interceptados y modificados.
- Autenticación entre la estación base y el usuario basada en certificados digitales X.509, para evitar suplantaciones de personalidad por parte tanto de la estación base como del usuario

ANEXO 3. SIMULACIONES CAMPO DE GOLF

En este anexo se muestran, para cada enlace del campo de golf, capturas de pantalla de Google Earth mostrando diferentes perspectivas donde se comprueba que aparentemente hay buena visión entre extremos

A continuación se muestran los resultados de la simulación del software de Alvarion de donde se obtiene el “Link PathLoss” para cada uno de los enlaces que es utilizado para compararse con los resultados del modelo de propagación SUI Extendido y con las medidas reales.

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
1-C	Antena acceso principal	2	6Mbps	42.310112	3.0181557

En esta ubicación se encuentra un puesto de vigilancia del que se puede obtener alimentación y se pueden colocar las dos cámaras sin problemas en un mismo mástil. Hay algún edificio en la trayectoria pero la altura debería impedir la pérdida de eficiencia del enlace.

La protección en este caso es del acceso al campo de golf y la carretera que continua tras el acceso.



Fig. 78. Vista superior del enlace 1-C



Fig. 79. Vista en perspectiva del enlace 1-C



Fig. 80. Resultados de la simulación del enlace 1-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
2-C	Antena carretera 1	2	6Mbps	42.311745	3.024566

La visión es muy buena en este caso y el mástil no debe ser demasiado alto evitando así el impacto visual.

Se protege la carretera que viene del acceso y la continuación de la misma. La carretera de acceso al Hotel ya se protege mediante cámaras ubicadas en el propio Hotel.



Fig. 81. Vista superior del enlace 2-C



Fig. 82. Vista en perspectiva del enlace 2-C

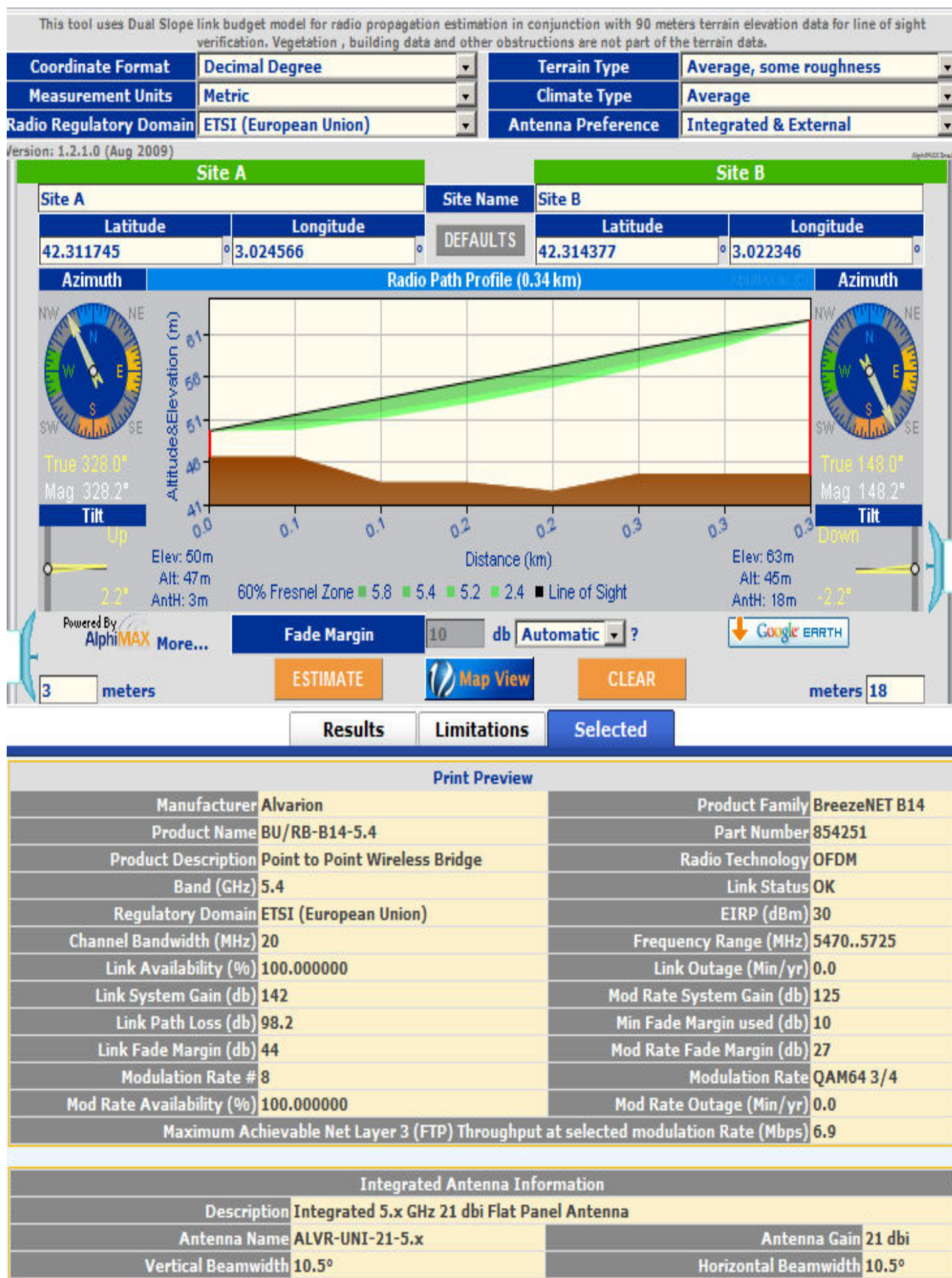


Fig. 83. Resultados de la simulación del enlace 2-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
3-C	Antena acceso 2	3	9Mbps	42.318075	3.024242

La corta distancia y el hecho de no haber edificios permiten una viabilidad óptima. Aunque hay árboles en el trayecto y se deberá tener en cuenta para la práctica. Esto debería reducir la capacidad del enlace de forma poco relevante.

Cubre el segundo acceso vehicular y el interior una vez se ha accedido.



Fig. 84. Vista superior del enlace 3-C

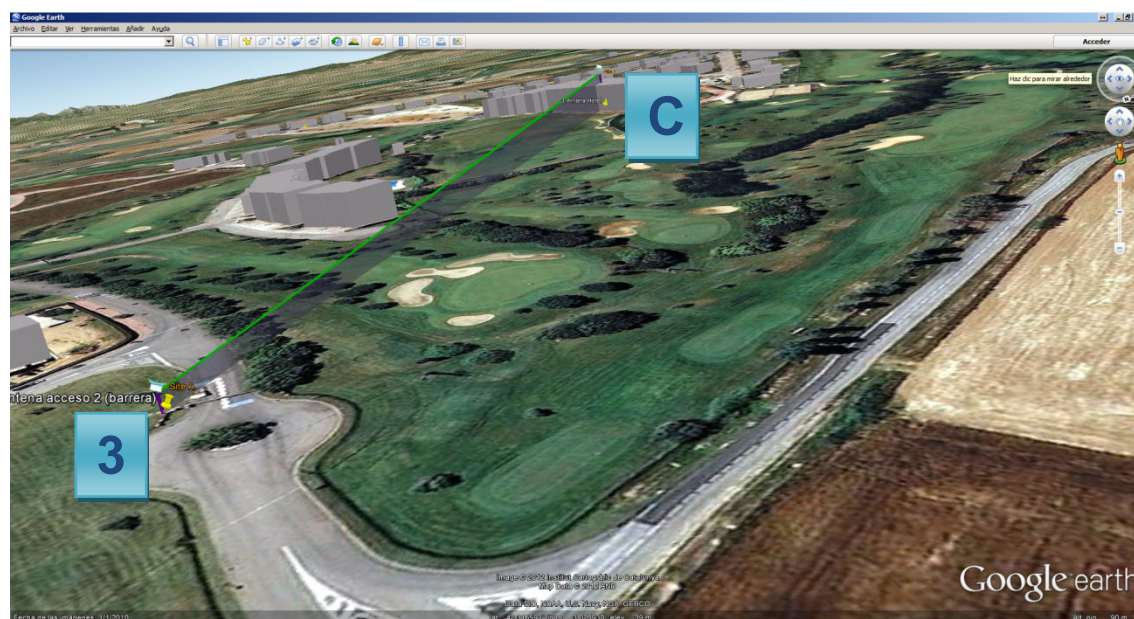


Fig. 85. Vista en perspectiva del enlace 3-C

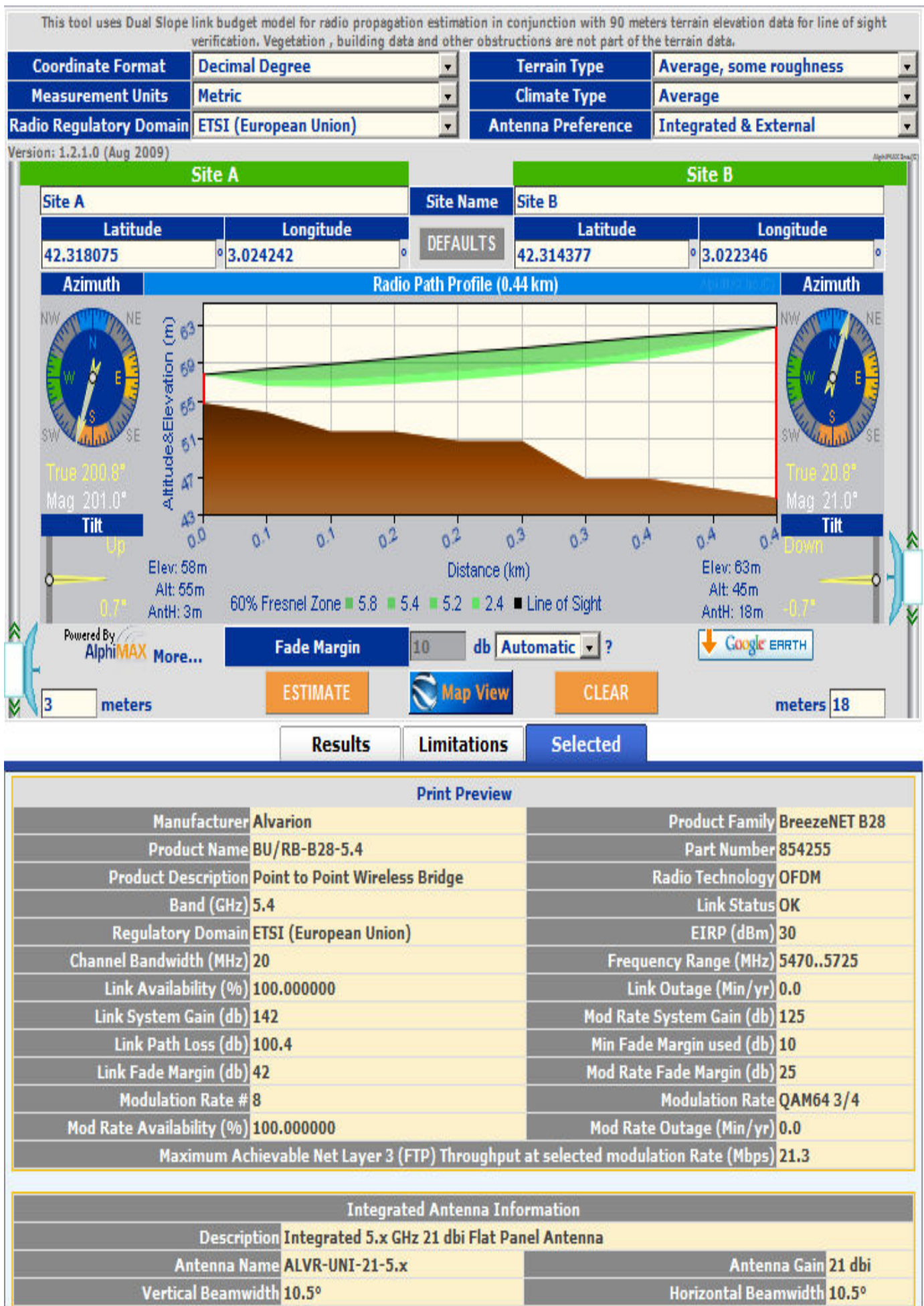


Fig. 86. Resultados de la simulación del enlace 3-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
4-C	Antena calle alargada	2	6Mbps	42.320719	3.026579

Se ha contemplado un aumento de la altura del mástil por haber edificios en la trayectoria. En la práctica se debe valorar un segundo aumento de dicha altura si es necesario. Dicha ubicación también puede variar en función de donde venga la alimentación aunque la orientación del enlace simulada se debe tener como referencia.

Protege una calle en la que hay varias viviendas. Forma parte del perímetro.



Fig. 87. Vista superior del enlace 4-C

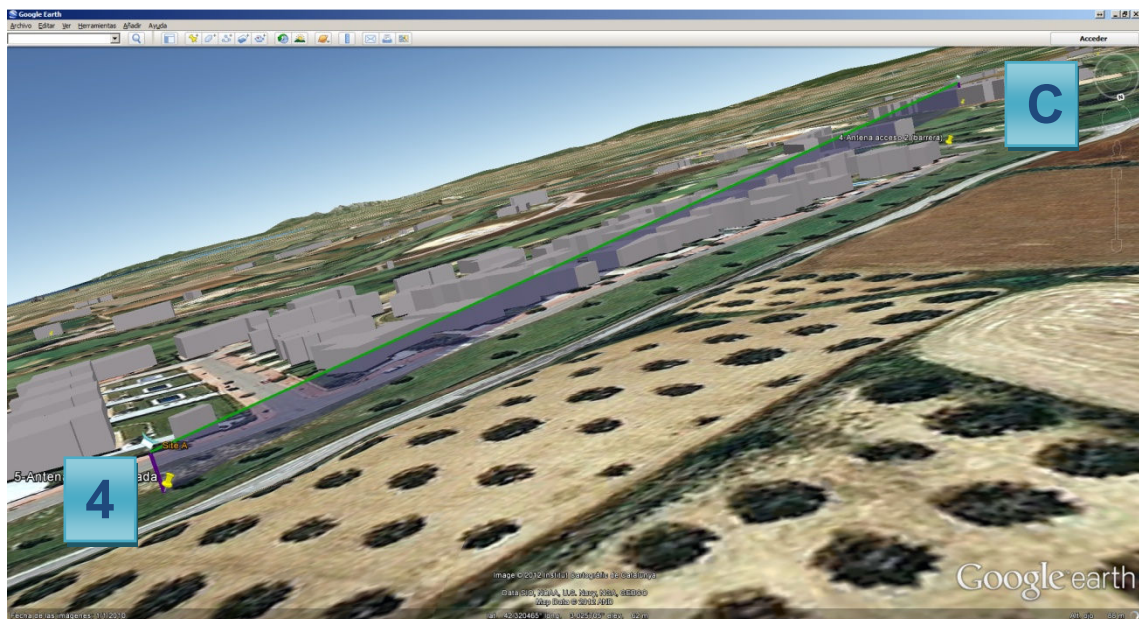


Fig. 88. Vista en perspectiva del enlace 4-C

This tool uses Dual Slope link budget model for radio propagation estimation in conjunction with 90 meters terrain elevation data for line of sight verification. Vegetation, building data and other obstructions are not part of the terrain data.

Coordinate Format	Decimal Degree	Terrain Type	Average, some roughness
Measurement Units	Metric	Climate Type	Average
Radio Regulatory Domain	ETSI (European Union)	Antenna Preference	Integrated & External

Version: 1.2.1.0 (Aug 2009)

Site A

Site A

Latitude	Longitude
42.320719	3.026579

Azimuth: True 206.4°, Mag 206.6°
 Tilt: Down -0.4°
 Elev: 69m, Alt: 64m, Anth: 5m

Site B

Site B

Latitude	Longitude
42.314377	3.022346

Azimuth: True 26.4°, Mag 26.6°
 Tilt: Up 0.4°
 Elev: 63m, Alt: 45m, Anth: 18m

Radio Path Profile (0.79 km)

Fade Margin: 10 db Automatic
 ESTIMATE Map View CLEAR
 5 meters 18 meters

Results Limitations Selected

Print Preview			
Manufacturer	Alvarion	Product Family	BreezeNET B14
Product Name	BU/RB-B14-5.4	Part Number	854251
Product Description	Point to Point Wireless Bridge	Radio Technology	OFDM
Band (GHz)	5.4	Link Status	OK
Regulatory Domain	ETSI (European Union)	EIRP (dBm)	30
Channel Bandwidth (MHz)	20	Frequency Range (MHz)	5470..5725
Link Availability (%)	100.000000	Link Outage (Min/yr)	0.0
Link System Gain (db)	142	Mod Rate System Gain (db)	125
Link Path Loss (db)	105.5	Min Fade Margin used (db)	10
Link Fade Margin (db)	37	Mod Rate Fade Margin (db)	20
Modulation Rate #	8	Modulation Rate	QAM64 3/4
Mod Rate Availability (%)	100.000000	Mod Rate Outage (Min/yr)	0.0
Maximum Achievable Net Layer 3 (FTP) Throughput at selected modulation Rate (Mbps)		6.9	

Integrated Antenna Information			
Description	Integrated 5.x GHz 21 dBi Flat Panel Antenna		
Antenna Name	ALVR-UNI-21-5.x	Antenna Gain	21 dBi
Vertical Beamwidth	10.5°	Horizontal Beamwidth	10.5°

Fig. 89. Resultados de la simulación del enlace 4-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
5-C	Antena fondo izquierda	2	6Mbps	42.321551	3.033987

Hay bastante distancia aunque el haz simulado se encuentra libre de obstáculos.

Junto con las zonas del fondo cubre el perímetro del final del campo de golf.



Fig. 90. Vista superior del enlace 5-C



Fig. 91. Vista en perspectiva del enlace 5-C



Print Preview			
Manufacturer	Alvarion	Product Family	BreezeNET B14
Product Name	BU/RB-B14-5.4	Part Number	854251
Product Description	Point to Point Wireless Bridge	Radio Technology	OFDM
Band (GHz)	5.4	Link Status	OK
Regulatory Domain	ETSI (European Union)	EIRP (dBm)	30
Channel Bandwidth (MHz)	20	Frequency Range (MHz)	5470..5725
Link Availability (%)	100.000000	Link Outage (Min/yr)	0.0
Link System Gain (db)	142	Mod Rate System Gain (db)	125
Link Path Loss (db)	109.5	Min Fade Margin used (db)	10
Link Fade Margin (db)	33	Mod Rate Fade Margin (db)	16
Modulation Rate #	8	Modulation Rate	QAM64 3/4
Mod Rate Availability (%)	99.999996	Mod Rate Outage (Min/yr)	0.0
Maximum Achievable Net Layer 3 (FTP) Throughput at selected modulation Rate (Mbps)			
6.9			

Integrated Antenna Information			
Description	Integrated 5.x GHz 21 dBi Flat Panel Antenna		
Antenna Name	ALVR-UNI-21-5.x	Antenna Gain	21 dBi
Vertical Beamwidth	10.5°	Horizontal Beamwidth	10.5°

Fig. 92. Resultados de la simulación del enlace 5-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
6-C	Antena fondo	1	4Mbps	42.320078	3.035736

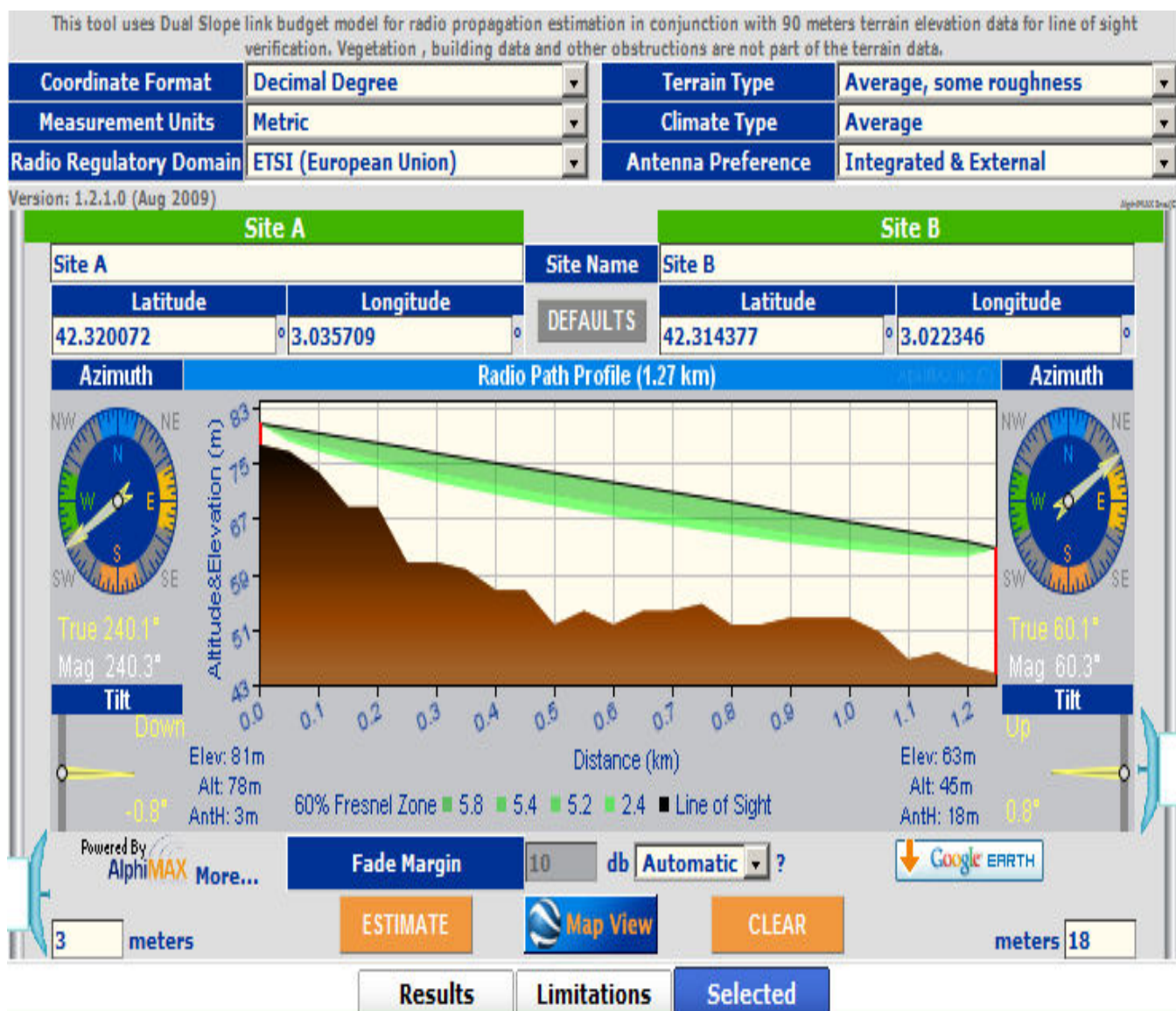
La parte del fondo es la más crítica por intrusiones detectadas en la misma. Los ajustes de las coordenadas de algunos puntos y el hecho comentado anteriormente llevan a añadir esta área a proteger que contempla la zona limítrofe con el exterior.



Fig. 93. Vista superior del enlace 6-C



Fig. 94. Vista en perspectiva del enlace 6-C



Print Preview			
Manufacturer	Alvarion	Product Family	BreezeNET B14
Product Name	BU/RB-B14-5.4	Part Number	854251
Product Description	Point to Point Wireless Bridge	Radio Technology	OFDM
Band (GHz)	5.4	Link Status	OK
Regulatory Domain	ETSI (European Union)	EIRP (dBm)	30
Channel Bandwidth (MHz)	20	Frequency Range (MHz)	5470..5725
Link Availability (%)	100.000000	Link Outage (Min/yr)	0.0
Link System Gain (db)	142	Mod Rate System Gain (db)	125
Link Path Loss (db)	109.6	Min Fade Margin used (db)	10
Link Fade Margin (db)	32	Mod Rate Fade Margin (db)	15
Modulation Rate #	8	Modulation Rate	QAM64 3/4
Mod Rate Availability (%)	99.999994	Mod Rate Outage (Min/yr)	0.0
Maximum Achievable Net Layer 3 (FTP) Throughput at selected modulation Rate (Mbps)		6.9	

Integrated Antenna Information			
Description	Integrated 5.x GHz 21 dbi Flat Panel Antenna		
Antenna Name	ALVR-UNI-21-5.x	Antenna Gain	21 dbi
Vertical Beamwidth	10.5°	Horizontal Beamwidth	10.5°

Fig. 95. Resultados de la simulación del enlace 6-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
7-C	Antena fondo derecha	2	6Mbps	42.317263	3.035240

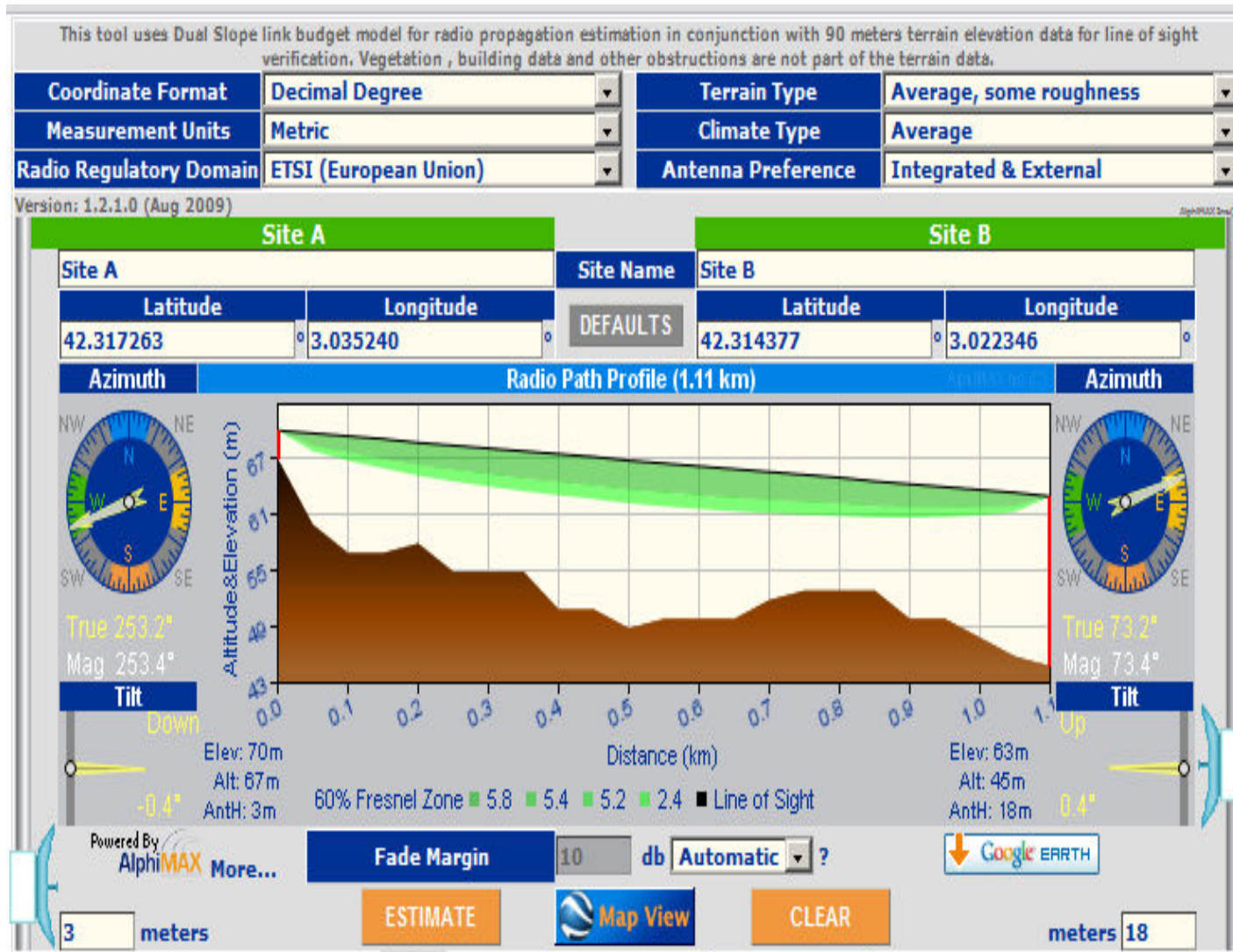
El enlace es viable aunque se deberá tener en cuenta la posible existencia de árboles en alguna parte del trayecto.



Fig. 96. Vista superior del enlace 7-C



Fig. 97. Vista en perspectiva del enlace 7-C



Results			
Limitations			
Selected			
Print Preview			
Manufacturer	Alvarion	Product Family	BreezeNET B14
Product Name	BU/RB-B14-5.4	Part Number	854251
Product Description	Point to Point Wireless Bridge	Radio Technology	OFDM
Band (GHz)	5.4	Link Status	OK
Regulatory Domain	ETSI (European Union)	EIRP (dBm)	30
Channel Bandwidth (MHz)	20	Frequency Range (MHz)	5470..5725
Link Availability (%)	100.000000	Link Outage (Min/yr)	0.0
Link System Gain (db)	142	Mod Rate System Gain (db)	125
Link Path Loss (db)	108.5	Min Fade Margin used (db)	10
Link Fade Margin (db)	34	Mod Rate Fade Margin (db)	17
Modulation Rate #	8	Modulation Rate	QAM64 3/4
Mod Rate Availability (%)	99.999998	Mod Rate Outage (Min/yr)	0.0
Maximum Achievable Net Layer 3 (FTP) Throughput at selected modulation Rate (Mbps)			
6.9			
Integrated Antenna Information			
Description	Integrated 5.x GHz 21 dbi Flat Panel Antenna		
Antenna Name	ALVR-UNI-21-5.x	Antenna Gain	21 dbi
Vertical Beamwidth	10.5°	Horizontal Beamwidth	10.5°

Fig. 98. Resultados de la simulación del enlace 7-C

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
8-C	Antena carretera 2	2	6Mbps	42.314523	3.031471

Esta zona cierra el círculo del perímetro y se coloca cerca de un emplazamiento de mantenimiento del club de golf del que se puede extraer alimentación eléctrica.



Fig. 99. Vista superior del enlace 8-C



Fig. 100. Vista en perspectiva del enlace 8-C

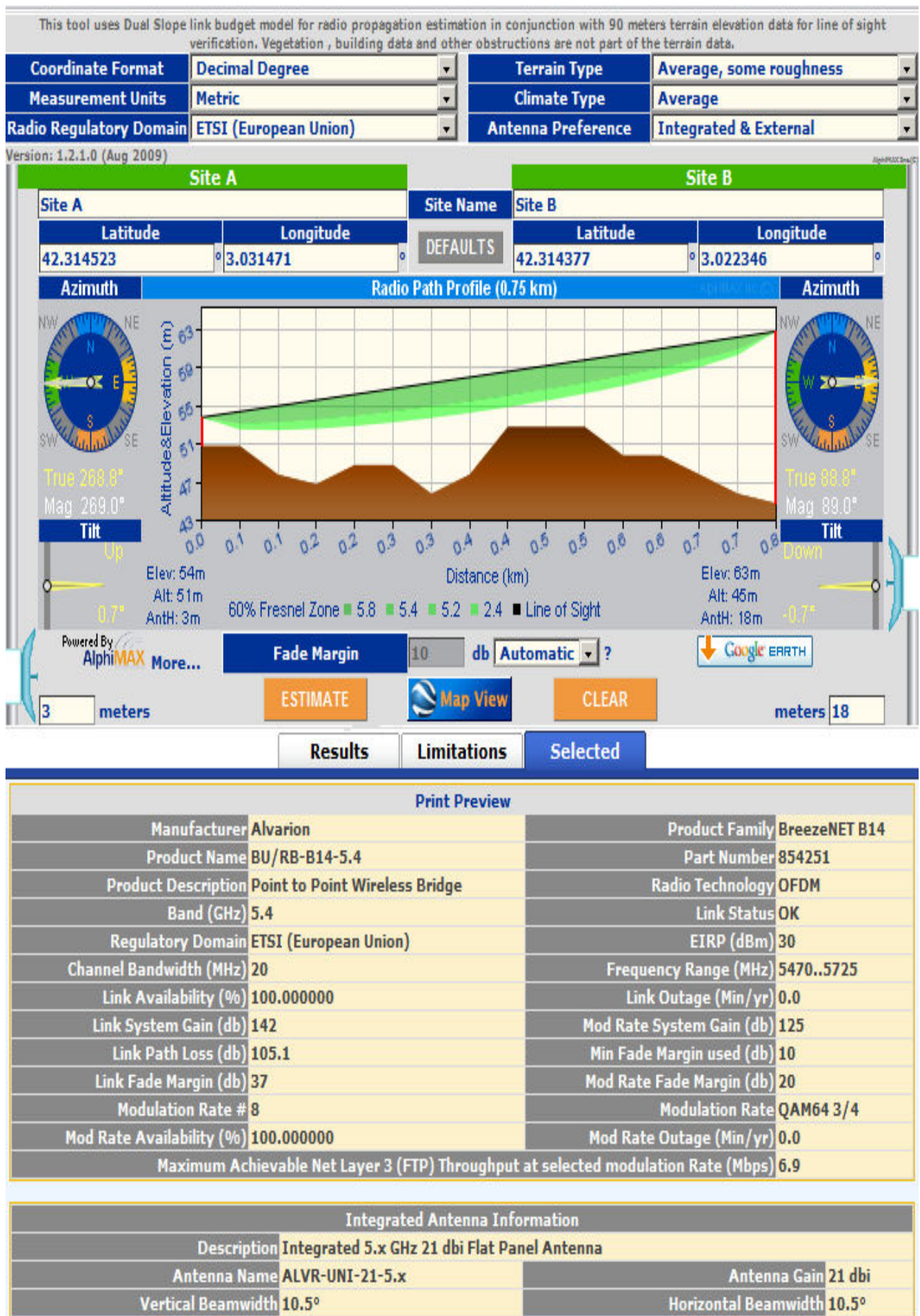


Fig. 101. Resultados de la simulación del enlace 8-C

En algunos puntos se contemplará la ayuda de alumbrado exterior de las carreteras (farolas) para alimentación eléctrica y soporte para las antenas. Por otro lado se pretende alimentar las cámaras por PoE a través del mismo alimentador de la propia antena como se muestra en la figura 102.



Fig. 102. Caja protectora de alimentador Alvarion en mástil

Nº de enlace	Nombre del enlace	Nº de cámaras	BW necesario	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y
1-C	Antena acceso principal	2	6Mbps	42.310112	3.018167
2-C	Antena carretera 1	2	6Mbps	42.311745	3.024566
3-C	Antena acceso 2	3	9Mbps	42.318075	3.024242
4-C	Antena calle alargada	2	6Mbps	42.320719	3.026579
5-C	Antena carretera 2	2	6Mbps	42.314568	3.031660
6-C	Antena fondo	2	6Mbps	42.321542	3.033797
7-C	Antena fondo derecha	2	6Mbps	42.317566	3.035619
	Antena Hotel	3	9Mbps	42.314377	3.022346

Fig. 103. Tabla de puntos de partida del campo de golf

Nº de enlace	Nombre del enlace	Coordenada referencia X	Coordenada referencia Y	Altura antena (m)	Distancia (Km)	Pérdidas del enlace (dB)	Margen de Fading (dB)
1-C	Acceso principal	42.310112	3.0181557	5	0.59	103	39
2-C	Carretera 1	42.311745	3.024566	3	0.34	98.2	44
3-C	Acceso 2	42.318075	3.024242	3	0.44	100.4	42
4-C	Calle alargada	42.320719	3.026579	5	0.79	105.5	37
5-C	Fondo izquierda	42.321551	3.033987	5	1.25	109.5	33
6-C	Fondo	42.320078	3.035736	3	1.27	109.6	32
7-C	Fondo derecha	42.317263	3.035240	3	1.11	108.5	34
8-C	Carretera 2	42.314523	3.031471	3	0.75	105.1	37
	Antena Hotel	42.314377	3.022346	18			

Fig. 104. Tabla de puntos de finales del campo de golf tras los ajustes en la simulación

ANEXO 4. SIMULACIONES CAPUS EETAC

En este anexo se muestran, para cada enlace del campus de la EETAC, capturas de pantalla de Google Earth mostrando diferentes perspectivas donde se comprueba que aparentemente hay buena visión entre extremos

A continuación se muestran los resultados de la simulación del software de Alvarion de donde se obtiene el “Link PathLoss” para cada uno de los enlaces que es utilizado para compararse con los resultados del modelo de propagación SUI Extendido y con las medidas reales.

Prueba 1

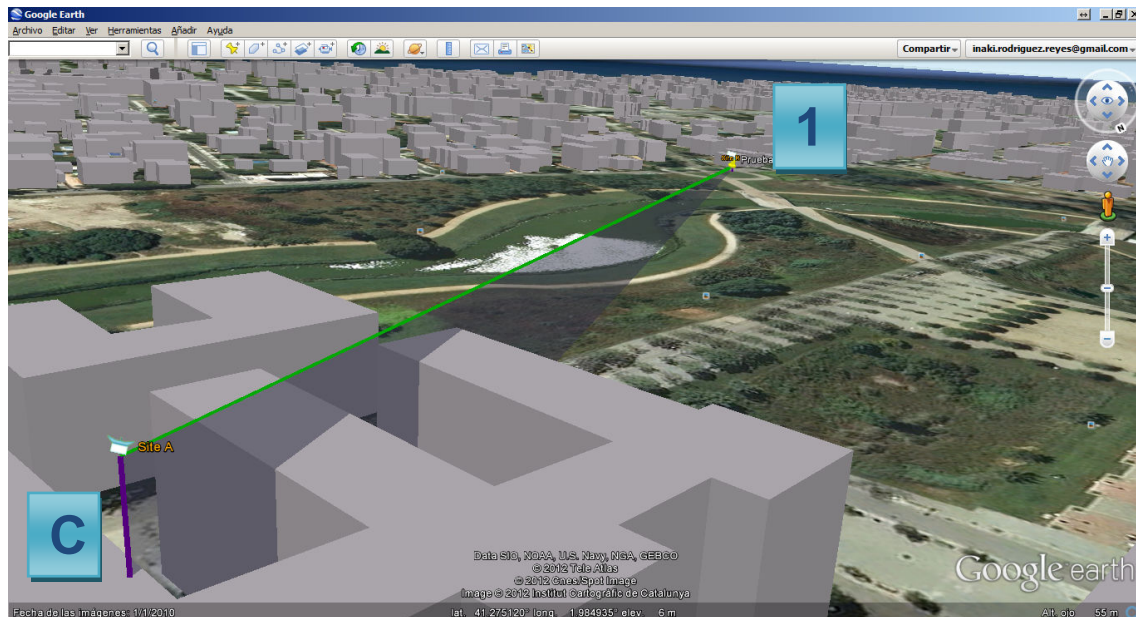


Fig. 105. Prueba nº1. Perspectiva desde “C”

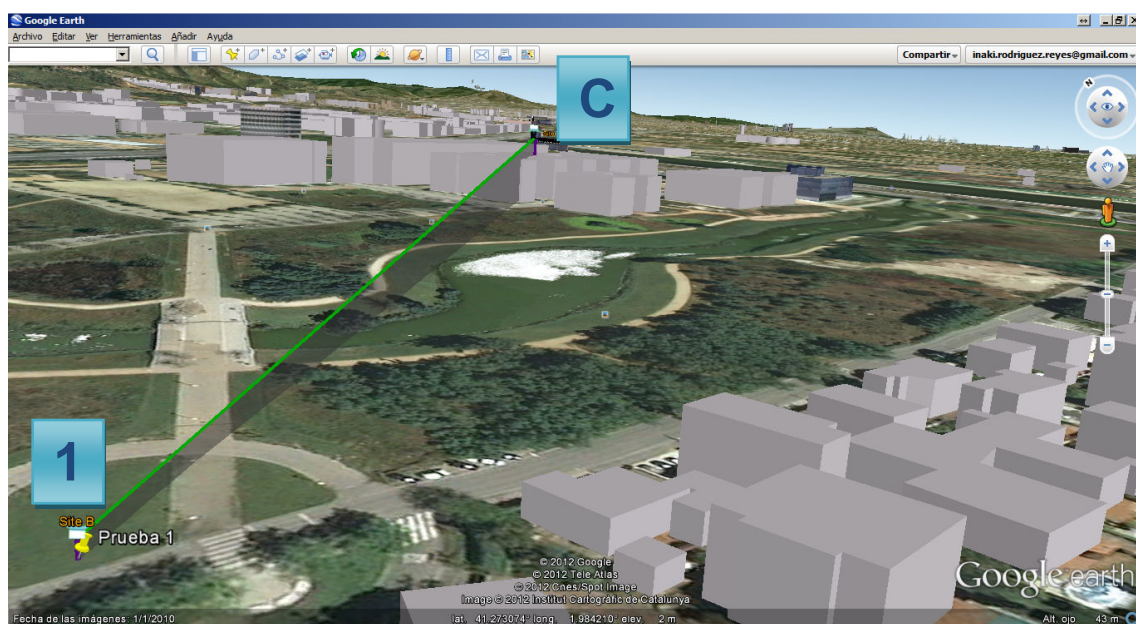


Fig. 106. Prueba nº1. Perspectiva desde “1”

En esta primera simulación la visión directa y la corta distancia proporcionan expectativas óptimas de viabilidad del enlace.



Fig. 107. Resultados de simulación de la prueba nº1

Se observa una atenuación bastante baja por las condiciones de la simulación, de 99.8dB. Aparentemente en esta prueba deberíamos obtener un nivel de señal óptimo para la transmisión de video.

111
Prueba 2

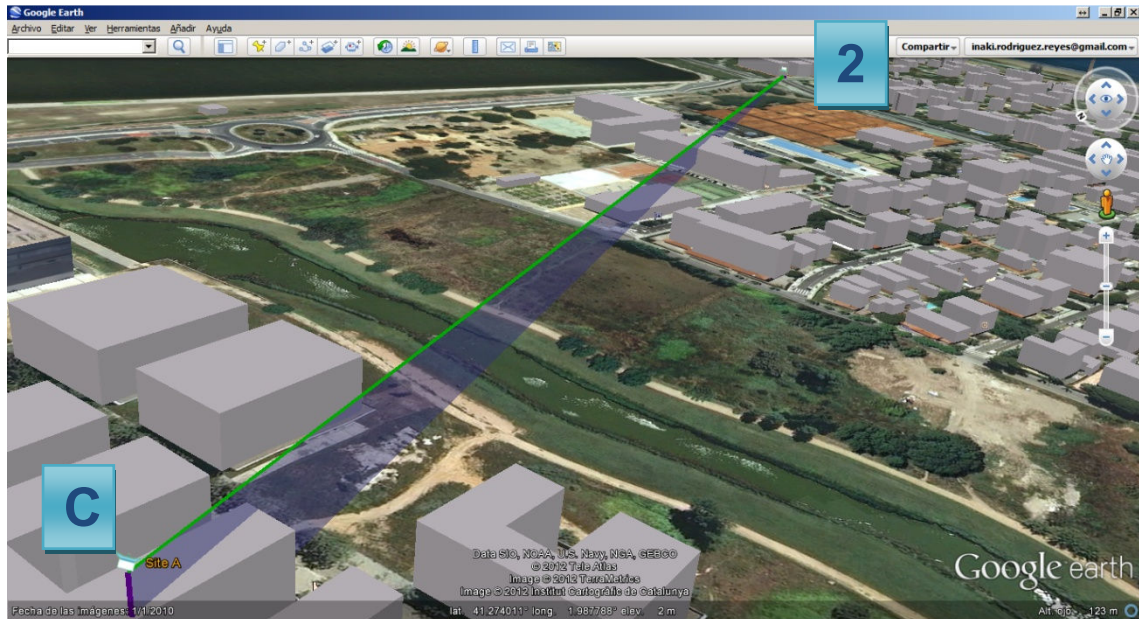


Fig. 108. Prueba nº2. Perspectiva desde “C”

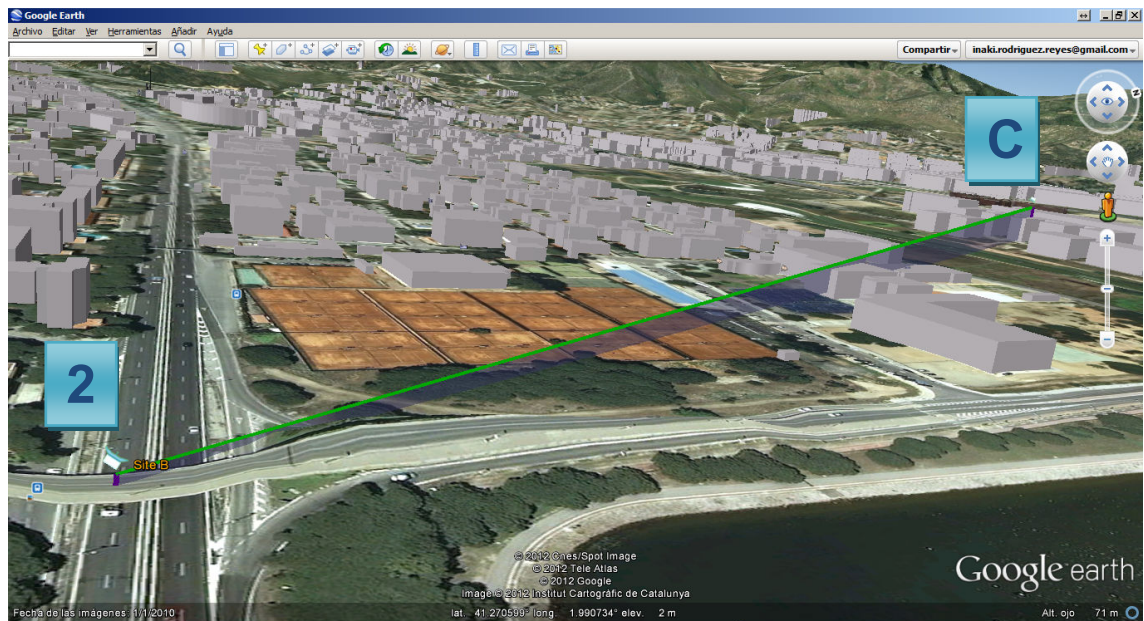


Fig. 109. Prueba nº2. Perspectiva desde “2”

En esta simulación se observa un edificio que interrumpe parte del haz vertical. El edificio mide 12 metros y según los resultados obtenidos en el perfil de terreno de la herramienta de Alvarion, el 60% de la zona de Fresnel no queda afectado. Es posible encontrar vegetación en el trayecto. Se debe tener en cuenta en la parte experimental.



Fig. 110. Resultados de simulación de la prueba nº2

Vemos que la atenuación ya supera los 100dB y que las alturas de las antenas permiten un clearance considerable, sin contar con el edificio que se encuentra en el trayecto.

Prueba 3

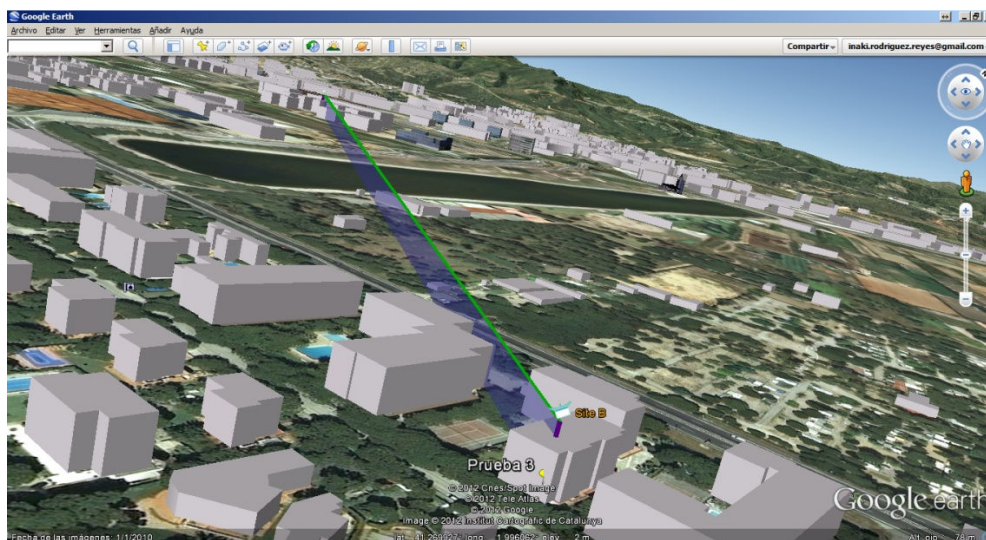


Fig. 111. Prueba nº3. Perspectiva desde “C”

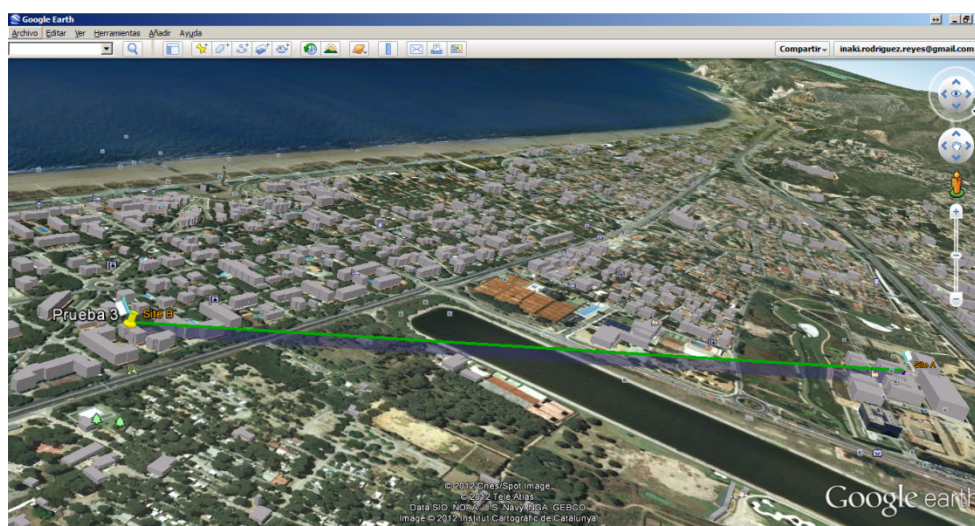


Fig. 112. Prueba nº3. Perspectiva aérea.



Fig. 113. Prueba nº3. Perspectiva lateral.

En Google Earth se puede apreciar que no hay demasiados obstáculos en la trayectoria, salvo el edificio junto al punto de medidas. Sin embargo hay una cantidad de vegetación elevada y hace que realmente no haya visión directa.

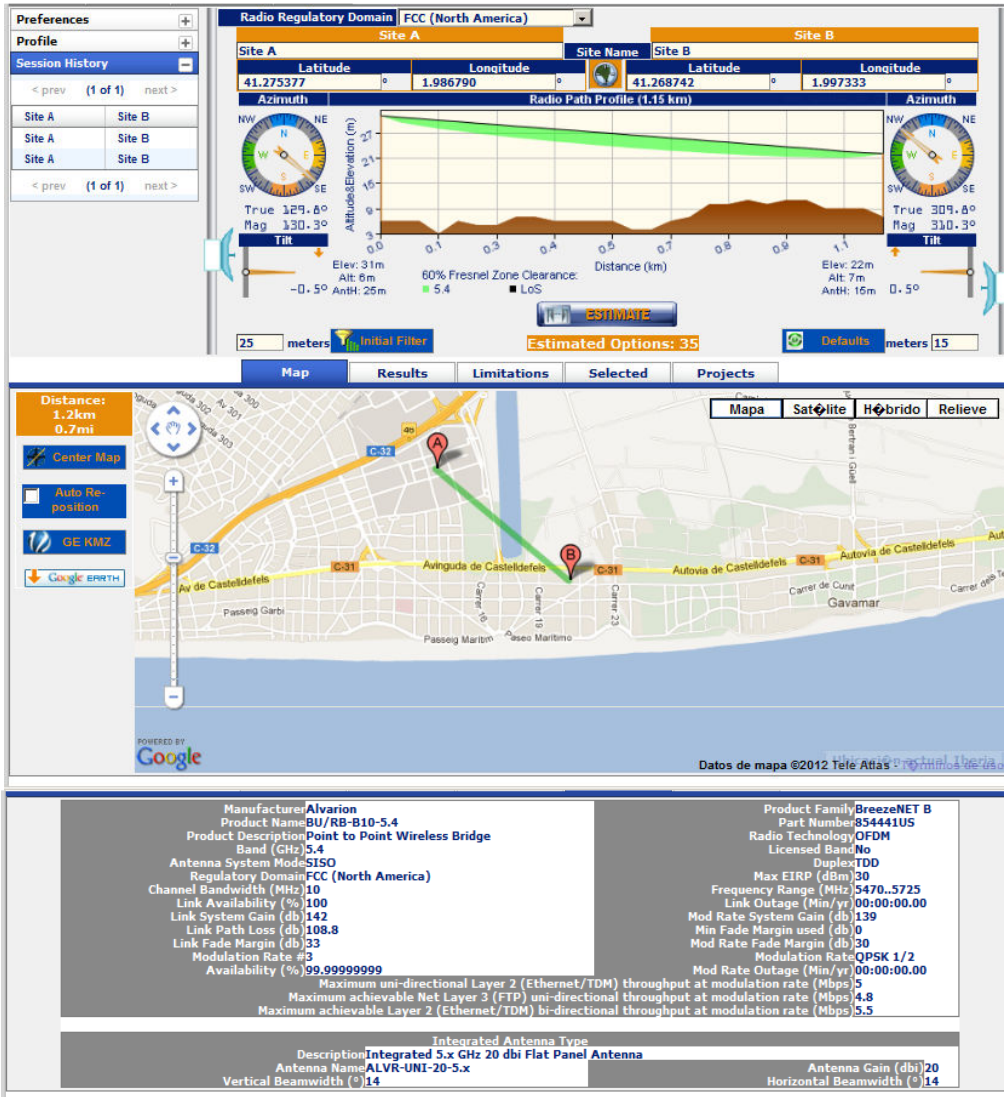


Fig. 114. Resultados de simulación de la prueba nº3

En cuanto a los resultados de simulación de la herramienta de Alvarion, se comprueba que hay un incremento de aproximadamente 3 dB con respecto a la anterior medida. Aunque por el incremento de distancia parezca que deba haber más diferencia en las pérdidas por propagación, no es así debido a que la altura de la antenna en este punto de medidas es mucho mayor.

ANEXO 5. MEDIDASCAMPUS EETAC

En este anexo se muestra la conexión por telnet al subscritor en cada punto de medida mostrando el nivel de SNR, RSSI y Potencia de ruido.

A continuación de la conexión por telnet, se muestra la imagen que se está transmitiendo hacia la BTS.

Como última medida en cada punto se muestra la gráfica de Throughput durante 60 segundos sin transmitir video y transmitiendo video.

Prueba 1

```
Telnet 10.0.0.13
AvgSNR = 17 AvgRSSI = -70 dBm
AvgSNR = 12 AvgRSSI = -76 dBm
AvgSNR = 16 AvgRSSI = -72 dBm
AvgSNR = 12 AvgRSSI = -76 dBm
AvgSNR = 20 AvgRSSI = -68 dBm
AvgSNR = 20 AvgRSSI = -67 dBm
AvgSNR = 26 AvgRSSI = -62 dBm
AvgSNR = 26 AvgRSSI = -61 dBm
AvgSNR = 25 AvgRSSI = -61 dBm
AvgSNR = 26 AvgRSSI = -60 dBm
AvgSNR = 26 AvgRSSI = -60 dBm
AvgSNR = 26 AvgRSSI = -60 dBm
AvgSNR = 27 AvgRSSI = -59 dBm
AvgSNR = 27 AvgRSSI = -60 dBm
AvgSNR = 29 AvgRSSI = -59 dBm
AvgSNR = 28 AvgRSSI = -60 dBm
AvgSNR = 27 AvgRSSI = -61 dBm
AvgSNR = 28 AvgRSSI = -60 dBm
AvgSNR = 27 AvgRSSI = -61 dBm
AvgSNR = 28 AvgRSSI = -60 dBm

BreezeACCESS UL/SU-6-BD/Castelldefels
Official Release Version - 5.5.12
Release Date: Nov 26 2008, 19:02:02
Link Quality
=====
1 - Continuous Average SNR/RSSI Display
2 - Continuous Noise Floor Display
3 - Continuous UpLink Quality Indicator Display
AlvarionSU2 >>> 2

Press ESC to exit . . .

Noise Floor = -89
Noise Floor = -88
Noise Floor = -88

BreezeACCESS UL/SU-6-BD/Castelldefels
Official Release Version - 5.5.12
Release Date: Nov 26 2008, 19:02:02
Link Quality
=====
```

Fig. 115. Resultados de las medidas de nivel de potencia de la prueba nº1



Fig. 116. Imagen transmitida en las medidas de la prueba nº1

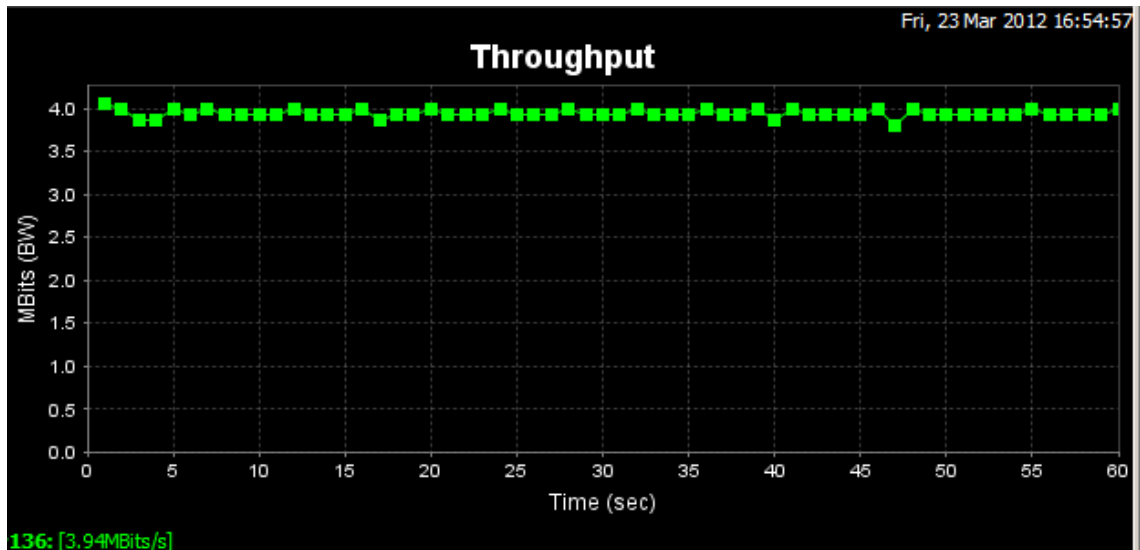


Fig. 117. Resultados de las medidas de Throughput sin video de la prueba n°1

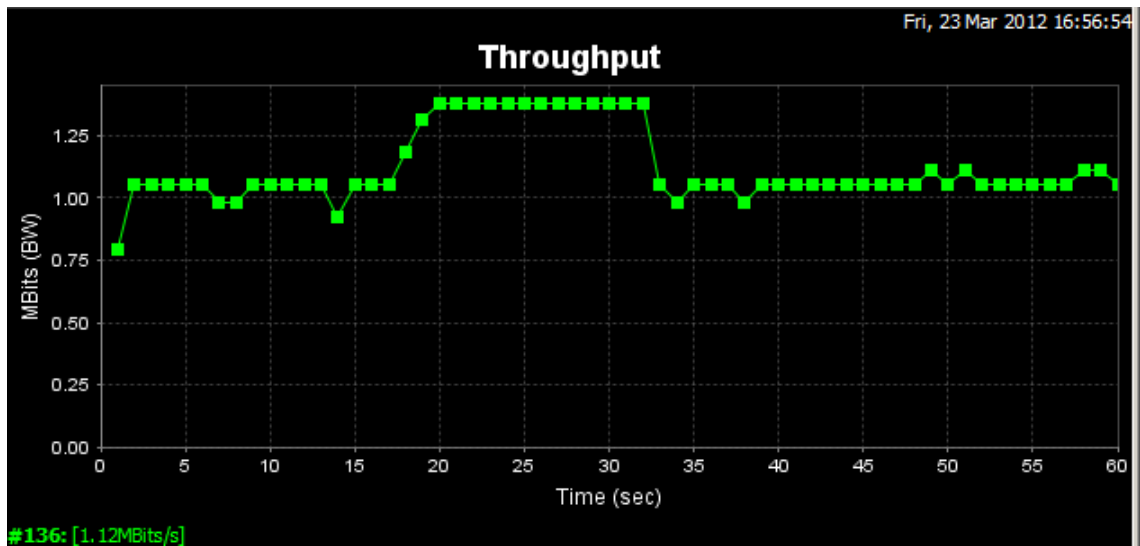


Fig. 118. Resultados de las medidas de Throughput con video de la prueba n°1

Gracias a la visión directa, se obtienen valores de SNR por encima de los 20dB y la señal de video se transmite sin problemas.

En ésta última gráfica se observa algunas variaciones debidas a movimiento de personas en la zona de captura de imagen.

Prueba 2

```
Telnet 10.0.0.13
AvrSNR = 17  AvrRSSI = -70 dBm
AvrSNR = 25  AvrRSSI = -62 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -62 dBm
AvrSNR = 23  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 23  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -62 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -62 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -62 dBm
AvrSNR = 25  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -62 dBm
AvrSNR = 23  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm
AvrSNR = 24  AvrRSSI = -63 dBm

BreezeACCESS UL/SU-6-BD/Castelldefels
Official Release Version - 5.5.12
Release Date: Nov 26 2008, 19:02:02
Link Quality
=====
1 - Continuous Average SNR/RSSI Display
2 - Continuous Noise Floor Display
3 - Continuous UpLink Quality Indicator Display
AlvarionSU2 >>> 2

Press ESC to exit . . .

Noise Floor = -87
Noise Floor = -88
Noise Floor = -88
Noise Floor = -87
Noise Floor = -88
```

Fig. 119. Resultados de las medidas de nivel de potencia de la prueba nº2

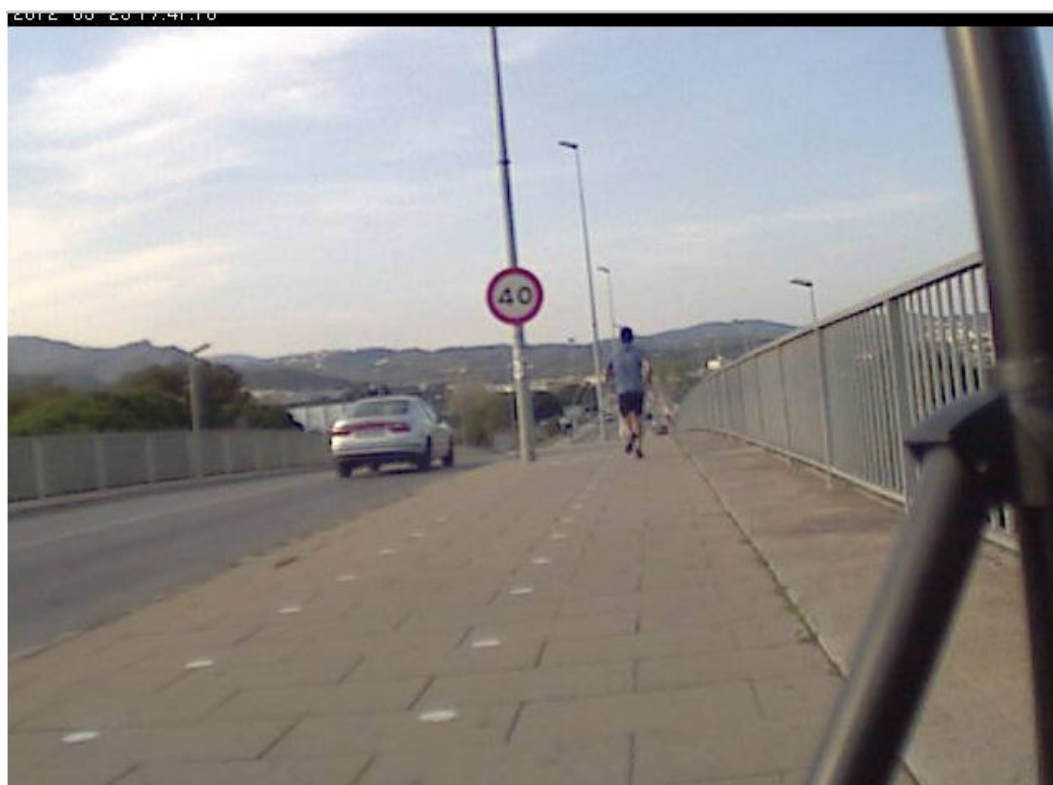


Fig. 120. Imagen transmitida en las medidas de la prueba nº2

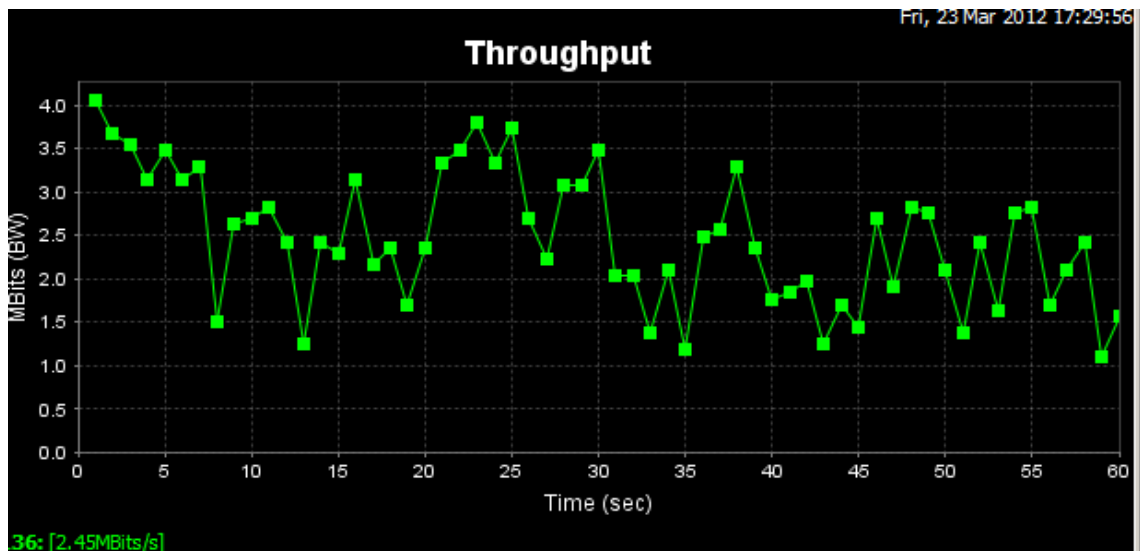


Fig. 121. Resultados de las medidas de Throughput sin video de la prueba nº2

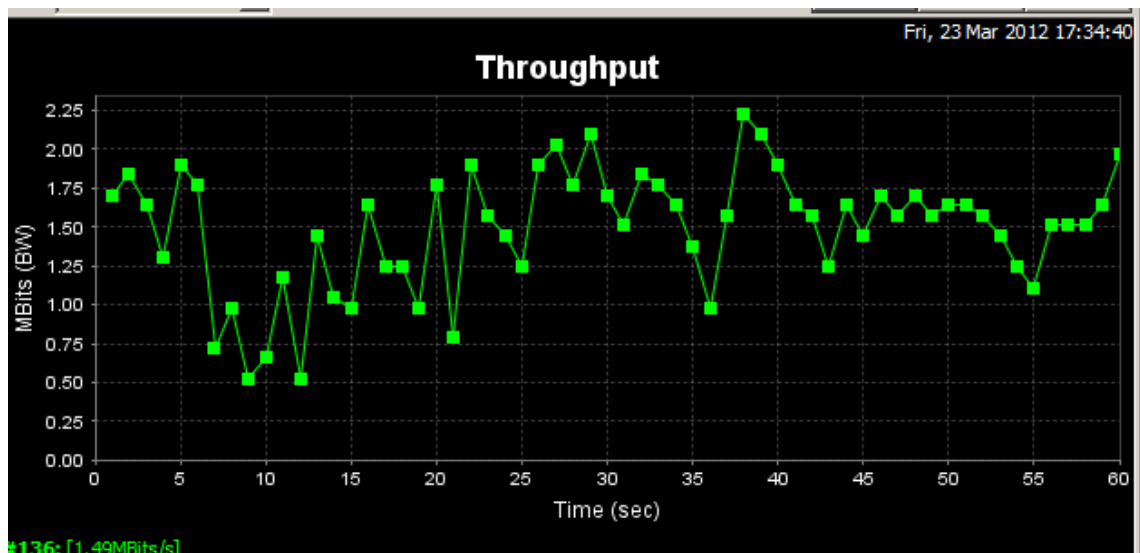


Fig. 122. Resultados de las medidas de Throughput con video de la prueba nº2

En esta ocasión, el nivel de SNR es inferior a 25dB ya que la visión no es tan buena y la distancia es mayor.

En la transmisión de video se ha capturado la imagen de la carretera, en la que hay movimiento de vehículos a una velocidad considerable. De ahí los altibajos de en el throughput de la señal.

Prueba 3

```
Telnet 10.0.0.13
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 21  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 21  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 21  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 21  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 19  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 19  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -68 dBm
AvrSNR = 21  AvrRSSI = -67 dBm
AvrSNR = 20  AvrRSSI = -68 dBm

BreezeACCESS UL/SU-6-BD/Castelldefels
Official Release Version - 5.5.12
Release Date: Nov 26 2008, 19:02:02
Link Quality
=====
1 - Continuous Average SNR/RSSI Display
2 - Continuous Noise Floor Display
3 - Continuous Uplink Quality Indicator Display
AlvarionSU2 >>> 2

Press ESC to exit . . .

Noise Floor = -89
Noise Floor = -89
Noise Floor = -88
Noise Floor = -89
```

Fig. 123. Resultados de las medidas de nivel de potencia de la prueba nº3

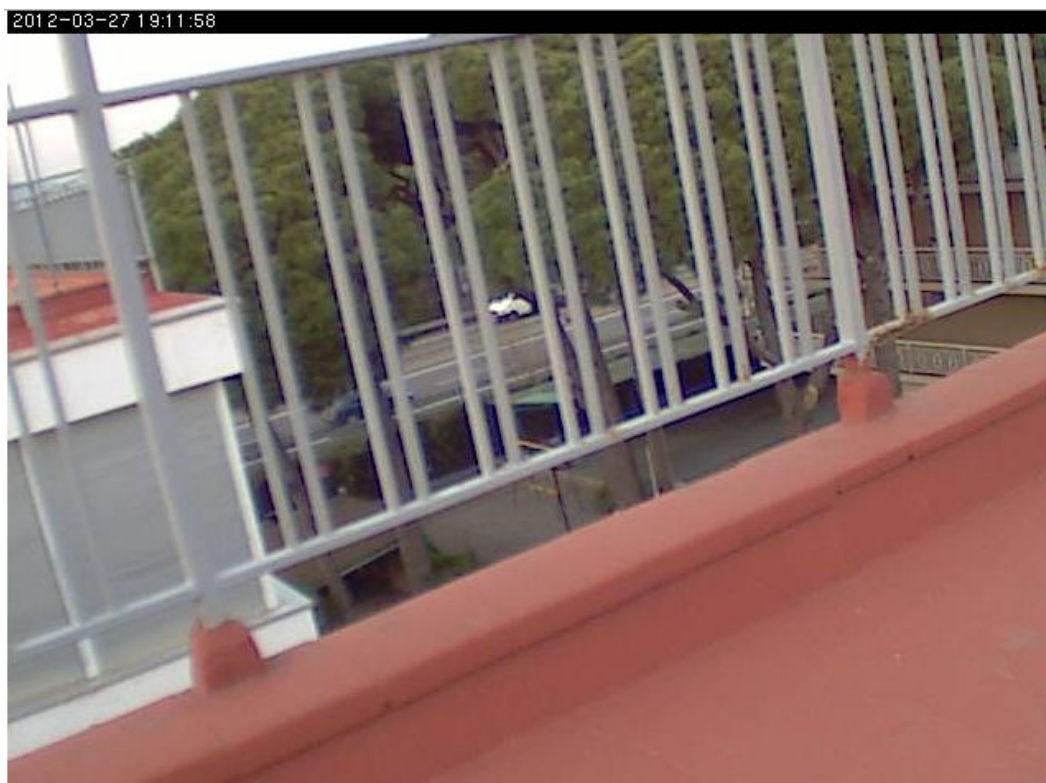


Fig. 124. Imagen transmitida en las medidas de la prueba nº3

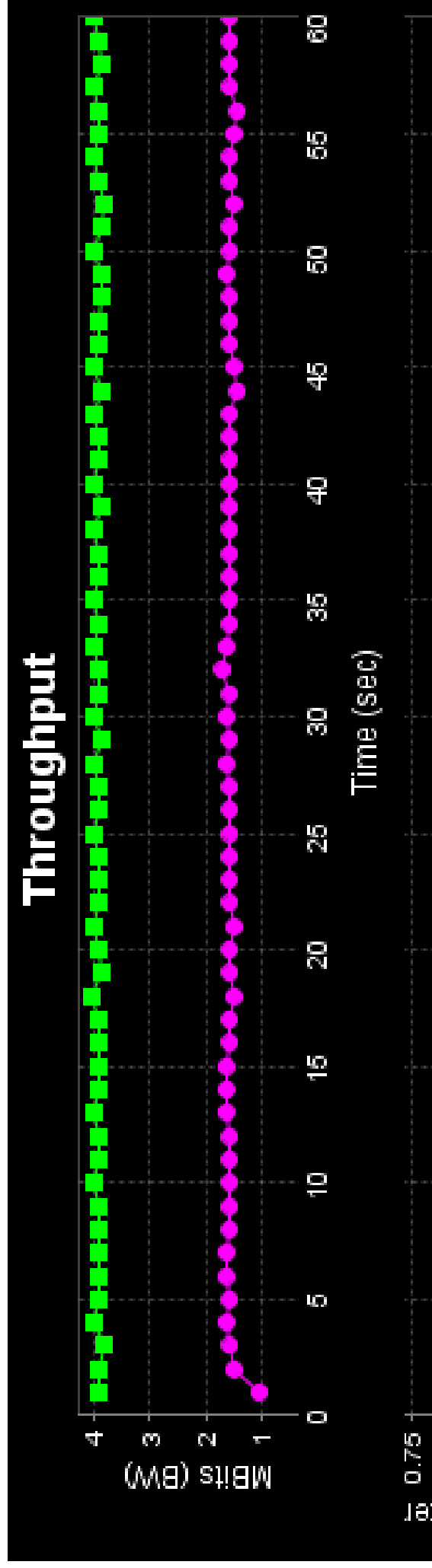


Fig. 125. Resultados de las medidas de Throughput sin video [verde] y con video [morado] de la prueba nº3